Электронные измерения и измерительная техника

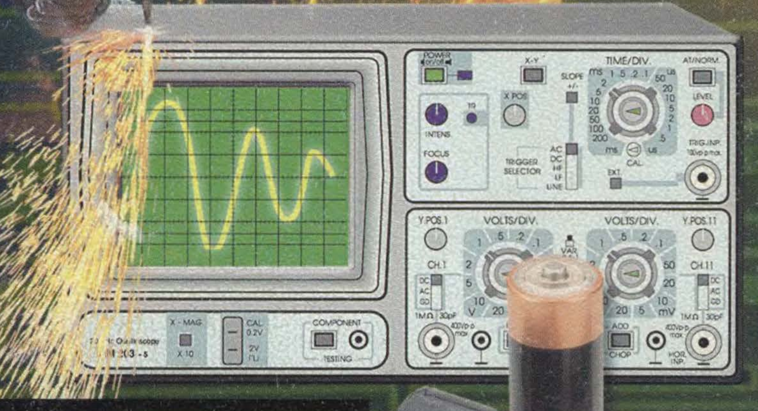




В. А. Новопольский

Работа с электронно-лучевым осциллографом

Практический курс



Для радиолюбителей и специалистов занимающихся настройкой и ремонтом РЭА

Издательство: «Горячая линия — Телеком»

МРБ

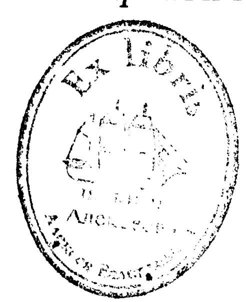
Основана в 1947 году

Выпуск № 1231

В. А. НОВОПОЛЬСКИЙ

РАБОТА С ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ОСЦИЛЛОГРАФОМ

Практический курс



Москва
"Радио и связь"
"Горячая линия — Телеком"
1999

ББК 31.221
Н74
УДК 621.217.75(076.5)

Новопольский В. А.

Н74 Работа с электронно-лучевым осциллографом.— М.: "Радио и связь", "Горячая линия — Телеком", 1999.— 176 с.: ил.

ISBN 5-256-01453-6

Рассмотрены принцип действия, устройство и методика работы с электронно-лучевым осциллографом (ЭЛО). Приведены методики измерения временны́х интервалов и оптимизации характеристик сигналов. Отмечены особенности применения осциллографов при исследовании транзисторных устройств различного назначения. Указаны типичные неисправности и пути их устранения.

Для широкого круга радиолюбителей и специалистов, занимающихся настройкой и ремонтом радиоэлектронной аппаратуры.

По заказу ООО "Научно-техническая книга"

ББК 31.221

ISBN 5-256-01453-6

ПРЕДИСЛОВИЕ

В условиях развития и внедрения современных технических средств в различные сферы деятельности человека в значительной степени возрастает роль осциллографической техники, как наиболее универсального средства измерений.

Осциллограф, этот универсальный индикаторный прибор, превратившийся в средство измерений с высокими метрологическими характеристиками, в руках умелого оператора стал незаменимым.

С его помощью производят визуальную настройку радиоаппаратуры, определяют неисправность того или иного узла, исследуют сравнительно медленно и быстро протекающие процессы в различных цепях.

Осциллограф широко применяют в медицине и во многих отраслях промышленности, весьма далеких от радиоэлектроники. Незаменимую помощь осциллограф может оказать и радиолюбителям при конструировании своей аппаратуры.

Однако работа с этим прибором имеет свои особенности. В книге сделана попытка рассказать, как следует пользоваться осциллографом, как работать с ним в различных условиях, как обеспечить соблюдение правил измерения. Особое внимание уделено исследованиям и проверке транзисторных устройств различного назначения. Для грамотной эксплуатации оператор должен ясно представлять устройство осциллографа универсального применения, понимать взаимодействие работы его блоков, уметь обнаружить и устранить неисправность.

Книга адресована прежде всего радиолюбителям, занимающимся конструированием аппаратуры и ее настройкой, а также специалистам различных отраслей, встречающихся с осциллографом впервые.

Автор признателен Б. Е. Редькину за ряд полезных советов и замечаний, сделанных при рецензировании рукописи.

Глава 1

ОСЦИЛЛОГРАФЫ И ИНДИКАТОРЫ

1.1. НАЗНАЧЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА

Электронно-лучевой осциллограф — один из наиболее распространенных измерительных приборов. И это неудивительно: он обладает исключительной наглядностью представления исследуемых явлений, удобством и универсальностью. Наблюдение процесса на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) дает работающему с прибором оператору информацию значительно большую, чем измерение отдельного параметра процесса, потому что форма электрического сигнала несет в себе информацию о всех его параметрах.

Но возникают вопросы: как выбрать осциллограф для работы с тем или иным радиотехническим устройством; какие могут быть типичные неисправности, в каких местах они наиболее часто встречаются и как их избежать; как измерить с помощью осциллографа тот или иной сигнал с возможно большей точностью; как по осциллограмме определить возможные источники неисправностей?

Попробуем ответить на эти вопросы. Но сначала остановимся на возможностях осциллографа. С соответствующими датчиками, преобразующими неэлектрические величины (температуру, влажность, давление, скорость вращения и др.) в электрические сигналы, его применяют во всех отраслях народного хозяйства. Осциллограф позволяет рассмотреть любые электрические процессы, даже если сигнал появляется в случайный момент времени и имеет длительность несколько наносекунд (10^{-9} с). По изображению на экране ЭЛТ можно определить амплитуду рассматриваемого сигнала в каждый момент времени и длительность любого его участка, т. е. рассмотреть ход события во времени, измерить длительность фронта импульса и спада, неравномерность вершины импульса, рассмотреть отклонения формы сигнала от заданной, параметры модулированных радиочастотных сигналов, коэффициент модуляции и степень искажения модулированного сигнала. С помощью осциллографа снимают амплитудные и фазовые характеристики различных

радиоустройств и производят другие комплексные измерения в самом широком диапазоне частот. Появившиеся в последние годы цифровые осциллографы открыли новые возможности исследования сигналов благодаря запоминанию сигнала и его последующей математической обработке с отделением сигналов от помех, воспроизведению принятых и преобразованных сигналов на печатающем устройстве и т. д.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

По действующему ГОСТ осциллографы по назначению и принципу действия разделяют на приборы универсальные, запоминающие, стробоскопические, скоростные и специальные, в последние годы появилась группа цифровых осциллографов.

По числу наблюдаемых сигналов их делят на одно-, двух- и многоканальные осциллографы. Такой многоканальности достигают за счет применения коммутаторов лучей по два на входной канал, двухканальных электронно-лучевых трубок и реже многолучевых трубок.

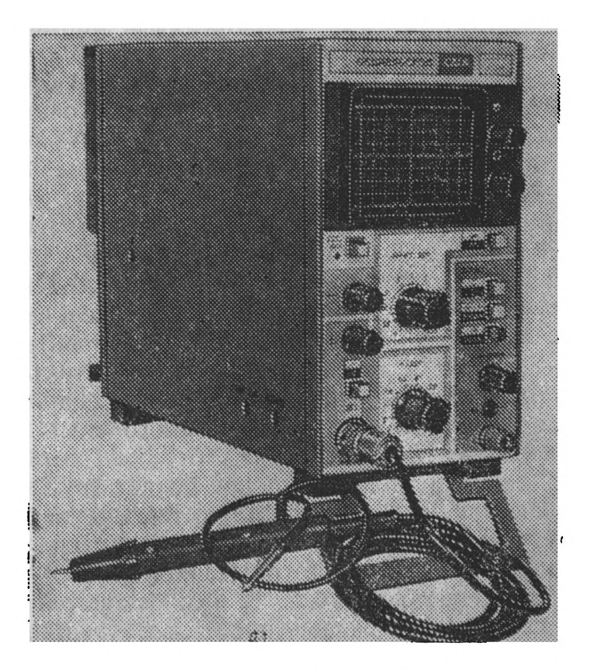
Универсальные осциллографы. Это приборы общего применения, предназначенные для наблюдения периодических и импульсных сигналов. С их помощью можно регистрировать как однократные процессы, так и исследовать пачки импульсов, получать одновременно изображение двух сигналов на одной развертке, детально исследовать любую часть сложного сигнала и производить еще много других наблюдений.

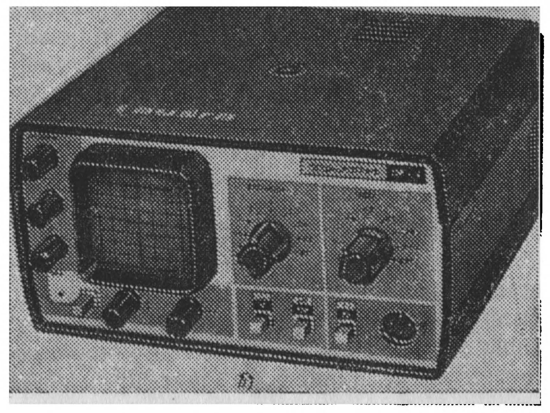
Универсальные осциллографы делят на две группы: приборы моноблочной конструкции и приборы со сменными блоками.

Моноблочные осциллографы общего назначения — наиболее распространенный тип приборов, применяемый для конкретных исследований и ремонтных работ. К ним относятся: малогабаритные приборы С1-94, «Сага» (рис. 1.1,*а*), осциллограф радиолюбительский ОР-1 (рис. 1.1,*б*), осциллограф-мультиметр С1-112А (рис. 1.1,*в*), и к ним можно также отнести осциллографы С9-7, С1-73, С1-101, С1-107, а с другой стороны, и сложные приборы, такие, как С1-65А, С1-92 (рис. 1.1,*г*), сверхширокополосный двухканальный С1-104 и др. Полоса пропускания таких приборов от постоянного тока — до 500 МГц (С1-104), диапазон исследуемых сигналов по напряжению — от десятков микровольт до сотен вольт. Среди моноблочных приборов имеются осциллографы с автоматизацией процессов управления, что значительно ускоряет процесс измерений за счет автоматизированной установки масштабов, автоматической регулировки яркости при переключении длительности развертки, знаковой индикации на ЭЛТ, например, С1-78, С1-98.

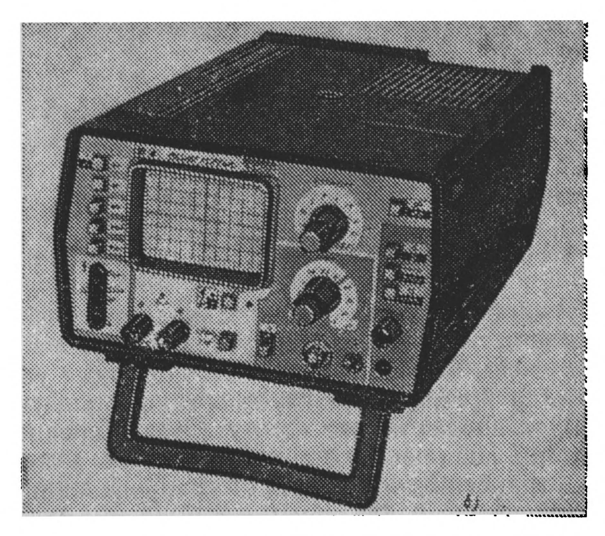
Осциллографы со сменными блоками отличаются многофункциональностью, достигаемой за счет применения сменных

блоков различного назначения. Примером такого осциллографа мог служить ранее выпускавшийся прибор С1-70, состоящий из базового и пяти сменных блоков различных усилителей и трех блоков развертки. Для более современных базовых блоков осциллографов С1-91, С1-122 и двухлучевого С1-115 была разработана общая серия сменных блоков. На рис. 1.2 показан базовый блок комплекта С1-122 и его сменные блоки. Базовый блок имеет полосу пропускания оконечного усилителя *X* до 150 МГц.





Для упрощения процесса измерения и повышения точности в схемах этих базовых блоков установлены специальные функциональные генераторы, предназначенные для формирования символов и знаков. Они непосредственно связаны со сменными блоками усилителей и разверток. В верхней и нижней частях экрана ЭЛТ появляются данные из трех информационных каналов — значения амплитуды, длительности двух сигналов и развертки, а также обозначения их размерностей. Для увеличения точности измерений к осциллографу придается специальный



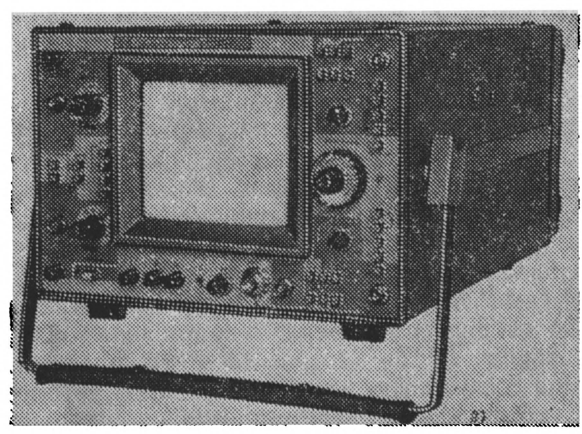


Рис. 1.1. Моноблочные осциллографы:

а — универсальный малогабаритный «Сага»; *б* — радиолюбительский ОР-1; *в* — осциллограф мультиметр С1-112А; *г* — широкополосный универсальный двухканальный моноблочный С1-92

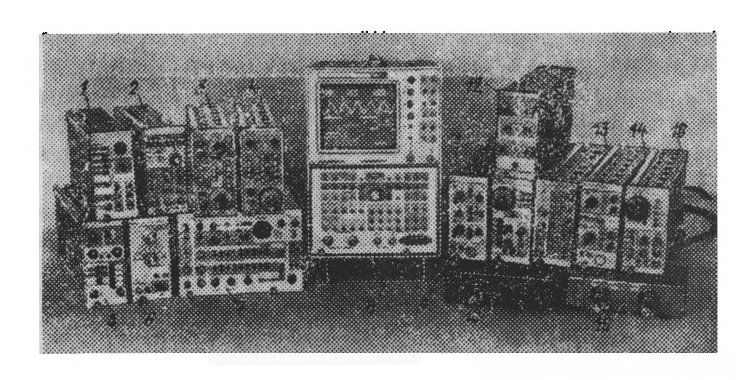


Рис. 1.2. Базовый блок осциллографа С1-122 со сменными блоками:

1 — блок калибратора 2К11; *2* — блок цифровой задержки Я4С-98; *3* — блок усилителя Я4С-90; *4* — блок развертки Я4С-91; *5* — блок измерения Я4С-105; *6* — блок вольтметра универсального Я4С-97; *7* — блок логического анализатора Я4С-110; *8* — блок анализатора сигналов Я4С-122; *9, 10* — блок двухканального стробоскопического преобразователя со смесителем на 12 ГГц Я4С-96; *11* — блок стробоскопической развертки Я4С-95, *12* — блок задержки Я4С 102; *13* — блок генератора перепада напряжения Я4С-89; *14, 15* — блок двухканального стробоскопического преобразователя Я4С-100 со смесителем на 18 ГГц, *16* — блок стробоскопической развертки Я4С-101

блок для калибровки, позволяющий сохранять требуемую точность в течение всего времени эксплуатации прибора. В базовом блоке расположены источники питания, оконечные усилители по координатам *X* и *Y*, генератор знаков, органы управления лучом. В базовый блок входят также коммутатор *Y*, предназначенный для коммутации подключения сменных блоков в каналах вертикального отклонения и каналах синхронизации, коммутатор *X*, предназначенный для коммутации пилообразных напряжений разверток *А* и *Б*, а также для подключения сменных блоков каналов вертикальных усилителей прибора в канал горизонтального отклонения, усилитель *Z* для импульсов подсвета и устройство управления коммутаторами.

Набор сменных блоков позволяет решать самые разнообразные измерительные задачи, например: проводить одновременное исследование четырех сигналов в полосе частот от 0 до 100 МГц с попеременной и одновременной работой каналов, осуществляя режим одноканального и дифференциального усиления с подавлением синфазной помехи в отношении 2000 : 1 с двумя блоками Я4С-90, проверять четырехполюсники с помощью блока генератора перепада напряжений Я4С-89 с длительностью фронта 50 пс (1 пс$=10^{-12}$ с), проводить временные измерения с помощью цифровой задержки (блок Я4С-98), исследовать статические характеристики полупроводниковых элементов с блоком Я4С-92, исследовать периодические сигналы в диапазоне частот от 0 до 18 ГГц (с блоками Я4С-100, Я4С-101) и т. д. Для автоматизации и повышения точности измерений до $\pm1,5$ % за счет корректировки различных погреш-

ностей из-за нелинейностей, астигматизма и др. используется блок Я4С-105 с микроконтроллером; многоканальный анализ цифровых схем производится с помощью блока Я4С-110. Микропроцессорный блок Я4С-122 с программным управлением содержит высокочувствительный усилитель, генератор развертки и аналого-цифровой преобразователь; совместно с базовым блоком С1-122 он образует цифровой запоминающий осциллограф с большим диапазоном возможностей вплоть до самообучения. Всего в комплект входят 14 блоков серии Я4С.

Аналоговые запоминающие осциллографы. Эти осциллографы основаны на применении запоминающих электронно-лучевых трубок (ЗЭЛТ). Полоса этих приборов достигает 100 МГц при скорости записи до 4000 км/с. Диапазон исследуемых сигналов — от десятков милливольт до сотен вольт.

Время воспроизведения записи изображения, т. е. время, в течение которого на экране можно наблюдать однократно записанное изображение, в различных типах приборов колеблется от 1 до 30 мин. При выключенных источниках питания запоминающие осциллографы сохраняют изображение до 7 сут. Изображение восстанавливается после включения прибора в сеть. Осциллографические ЗЭЛТ делятся на полутоновые, бистабильные и комбинированные. Полутоновые ЗЭЛТ позволяют получать самую высокую скорость записи, бистабильные — самое большое время воспроизведения, комбинированные сочетают достоинства как бистабильных, так и полутоновых ЗЭЛТ.

Схемы этих осциллографов позволяют ЗЭЛТ работать в различных режимах: обычного осциллографирования, с повышенной яркостью при наблюдении сигналов с малой частотой следования, в обычном и форсированном режимах запоминания. В форсированном режиме запоминаются сигналы, скорость прохождения которых пятикратно превышает реальную скорость записи ЗЭЛТ, в режиме накопления — тоже, если скорость периодических сигналов также значительно выше скорости записи ЗЭЛТ.

Стробоскопические и скоростные осциллографы. Сущность стробоскопического преобразования состоит в том, что специальной схемой создаются очень короткие строб-импульсы, которые при каждом периоде исследуемого сигнала продвигаются вдоль него в направлении оси времени (рис. 1.3,*а*) и таким образом за определенное число периодов проходят исследуемый сигнал полностью. Частота повторения строб-импульса несколько отличается от частоты повторения исследуемого сигнала, поэтому каждый последующий строб-импульс сдвинут относительно начала сигнала на отрезки времени 0, Δt, $2\Delta t$, $3\Delta t$ и т. д. (Δt — шаг считывания, во много раз меньше длительности исследуемого периода). В результате строб-импульс «ощупывает» исследуемый сигнал по точкам и за $n=T/\Delta t$ строб-импульсов сигнал

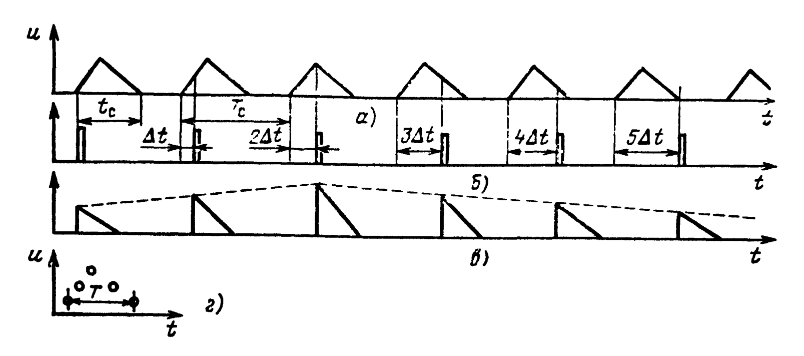


Рис. 1.3. Эпюры напряжений, поясняющие принцип работы стробоскопического осциллографа:

а — напряжение сигнала; *б* — строб-импульсы; *в* — расширенные импульсы; *г* — изображение исследуемого сигнала (*T* — время изображения)

просматривается полностью (рис. 1.3,*б*). Сигнал и строб-импульсы подводятся к специальному устройству — смесителю. Амплитуда строб-импульсов, прошедших через смеситель, пропорциональна мгновенному значению амплитуды исследуемого сигнала в момент прохождения строб-импульса через схему преобразования. Дальше эти импульсы усиливаются и расширяются и выделяется огибающая исследуемого сигнала (рис. 1.3,*в*). При этом сигнал растягивается во времени во много раз (10—10 000) и во столько же раз уменьшается скорость его изменения, а следовательно, пропорционально уменьшается и верхняя граничная частота, необходимая для передачи этого сигнала. В результате появляется возможность изучать высокочастотные сигналы на низкочастотном приборе. Исходный сигнал выделяется с помощью фильтра нижних частот, накопительных емкостных схем или с помощью усилителя-расширителя.

Для данной схемы уровень шумов по сравнению с имеющимся в реальной цепи уменьшается в $\sqrt{n}$ раз, что еще больше расширяет возможность стробоскопического метода для исследования слабых сигналов (n — число выборок в секунду).

Стробоскопические осциллографы являются самыми чувствительными широкополосными приборами. Их применяют для изучения периодических сигналов нано- и пикосекундного диапазонов длительностей с эквивалентной полосой пропускания от постоянного тока до десятков гигагерц, при уровнях сигналов от единиц милливольт до единиц вольт.

Скоростные осциллографы предназначены для регистрации однократных и повторяющихся сигналов в полосе до единиц гигагерц. Исследуемый сигнал подается непосредственно на сигнальную отклоняющую систему ЭЛТ, построенную по принципу бегущей волны и позволяющую исключить влияние време-

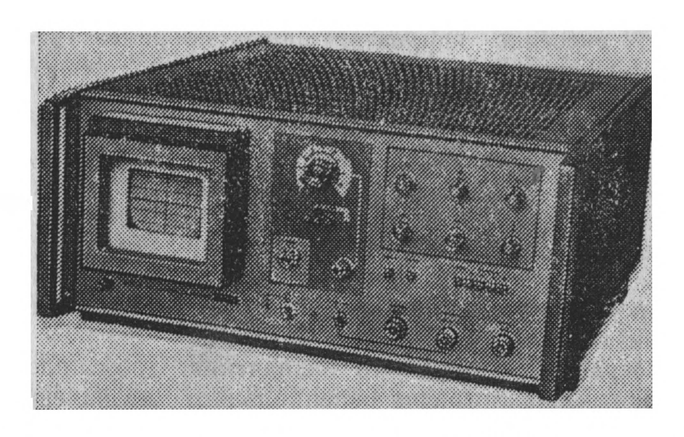


Рис. 1.4. Внешний вид скоростного осциллографа С7-19. Подача сигнала производится на разъем с левой стороны прибора

ни пролета электронов через пространство отклоняющих пластин, за счет чего увеличивается широкополосность. Сигнальный вход таких осциллографов — коаксиальный, со входным сопротивлением 50 Ом. В последних моделях (С7-19, рис. 1.4) применена квадрупольная фокусировка системами магнитных линз, которая позволяет увеличить скорость записи за счет лучшей фокусировки. Но главное, за счет чего удается довести скорость записи до 250 000 км/с — это применение ЭЛТ с микроканальными усилителями. Такая микроканальная шайба (рис. 1.10) состоит из многих тысяч тонкостенных трубок диаметром 1,5—2 мкм, внутренняя поверхность которых путем напыления покрыта слоем, способным при попадании на него электрона излучать вторичные электроны, усиливающие общий поток электронов примерно до 1000 раз.

Цифровые осциллографы. В последние годы большое и во многих случаях решающее значение приобретают цифровые осциллографы. Цифровое преобразование принципиально изменяет самую сущность методов изучения сигнала. Осциллограф превращается в устройство, запоминающее сигнал, преобразующее его в цифровую форму, удобную для дальнейшей обработки и сохранения, и обратно преобразующее сигнал в аналоговую форму — для индикации.

В настоящее время происходит вытеснение аналоговых осциллографов цифровыми. Возможны комбинации аналоговых и цифровых приборов в общем блоке, например С1-131. Однако аналоговые осциллографы сохраняют свое значение как сервисные малогабаритные приборы, с одной стороны, и как средства исследования сверхскоростных процессов с другой.

Пример такого преобразования — усреднение сигнала из шумов (сигнал запоминается много раз, а уровни шумов

меняются); внесение корректирующих поправок в сигнал, искаженный несовершенством испытательного оборудования или небольшими рассогласованиями сопротивлений; автоматическое масштабирование и преобразование шкал для удобного наблюдения сигнала, например, при возникновении преобразования изображения в логарифмическую шкалу частот и т. д. Измерение любого параметра сигнала практически сводится к составлению программы. При исследовательских работах предусматривается режим обучения, позволяющий проводить отладку и коррекцию программы. Подробнее о цифровых осциллографах см. § 8.5.

Осциллографы специального назначения. Промышленностью выпускаются осциллографы специального назначения: для исследования телевизионных сигналов, имеющие счетно-фазирующее устройство и позволяющие исследовать любую часть телевизионного сигнала с высокой временной стабильностью (С9-1); многоканальные индикаторы для медицинских целей, осциллографы с матричными экранами и др. Поскольку наибольшее распространение получили осциллографы широкого применения и универсальные, то ниже будет рассмотрена методика их применения для исследования различных транзисторных схем.

1.3. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

Простой осциллограф общего применения С1-94. На рис. 1.5 представлена структурная схема осциллографа общего применения С1-94. Эта схема общая для целого ряда приборов такого класса: «Сага», «Ор-1» и др. Назначение основных блоков следующее. Канал вертикального отклонения (ось Y) усиливает или ослабляет исследуемый сигнал (рис. 1.5,*а*) до значения, удобного для рассмотрения на экране ЭЛТ (рис. 1.5,*б*). Канал состоит из входного делителя с частотной компенсацией, предварительного усилителя, усиливающего сигнал, линии задержки и оконечного усилителя Y, преобразующего сигнал в симметричный для подачи его на пластины. Линия задержки нужна для того, чтобы задержать приход оконечного сигнала на время, необходимое для срабатывания генератора развертки и усилителя X, так чтобы горизонтальное движение луча по экрану трубки начиналось прежде поступления усиленного сигнала на вертикально отклоняющие пластины. Это позволяет наблюдать передний фронт сигнала (сдвиг между моментами t_1 и t_2) (рис. 1.5,*б*). В простых осциллографах, таких, как «Сага», линия задержки отсутствует и в нем даже калибрационный импульс просматривается у самого края шкалы трубки (см. рис. 2.13,*б*), но это для периодических сигналов несущественно. Время, необходимое для запуска развертки и подсвета прямого хода луча, для большинства осциллографов не превышает 0,15 мкс, поэто-

му задержка 0,25 мкс, как правило, обеспечивает возможность рассмотрения фронта сигнала. В канал вертикального отклонения входит усилитель синхронизации, который усиливает часть исследуемого сигнала и передает его для запуска развертки.

Канал горизонтального отклонения обеспечивает синхронное с исследуемым сигналом напряжение для создания оси времени на экране ЭЛТ. Это напряжение имеет пилообразную форму (рис. 1.5,*г*) с высокой степенью линейности. Начало этого «развертывающего» напряжения — синхронизации или запуска — производится короткими запускающими импульсами, создаваемыми триггером синхронизации (рис. 1.5,*в*). Генератор развертки создает линейно нарастающее напряжение. Скорость изменения этого напряжения регулируется ручкой *Время/дел.* Напряжение развертки поступает на оконечный усилитель *X*, который преобразует напряжение развертки в симметричное (рис. 1.5,*д*) и усиливает его до значения, необходимого для требуемого масштаба изображения во времени. Положительно нарастающее пилообразное напряжение подается на правую отклоняющую пластину ЭЛТ, а отрицательное — на левую. В результате луч по экрану трубки проходит слева направо за определенное время, установленное количеством делений шкалы. Эти деления (масштаб измерения времени) могут быть сантиметровыми, а также составлять 8 и 6 мм. При переключении синхронизации в режим непрерывных колебаний обеспечивается автоколебательный режим работы развертки.

Прямоугольный импульс подсвета луча генерируется в схеме генератора развертки и подается на модулятор трубки. Длительность его должна совпадать с длительностью нарастающей части пилообразного напряжения. Назначение этого импульса (рис. 1.5,*г*) — отпирать трубку во время прямого хода луча.

В состав осциллографа входят калибраторы амплитуды и времени, предназначенные для калибровки масштабов отклонения вертикального и горизонтального каналов и источники питания — низковольтный со стабилизацией напряжения и высоковольтный преобразователь для питания ЭЛТ. В состав прибора входят также выносные пробники-щупы 1 : 1 для подведения исследуемых сигналов без искажений и 1 : 10 — делитель высоковольтного сигнала. Их применение рассматривается ниже.

Разберем два осциллографа широкого применения: простой С1-94 и сложный С1-92. С помощью обоих этих приборов можно рассматривать импульсные и периодические сигналы с амплитудами от 20 мВ до 200 В и длительностями до 0,1 мкс до 0,5 с. Малогабаритность С1-94 (масса прибора менее 3,5 кг) позволяет использовать его в службах ремонта радиоаппаратуры, радиолюбителями и в учебных заведениях. Схема содержит: 173 сопротивления, 59 конденсаторов, 16 диодов и 49 транзисторов.

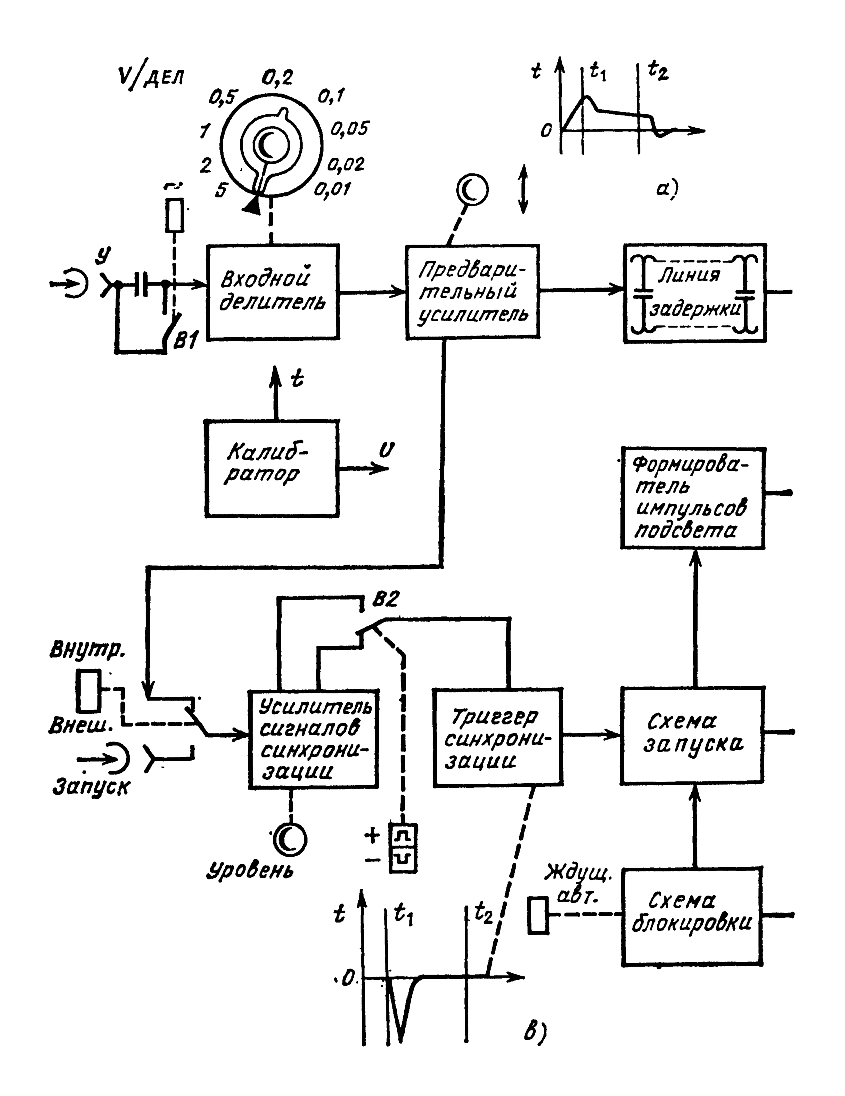
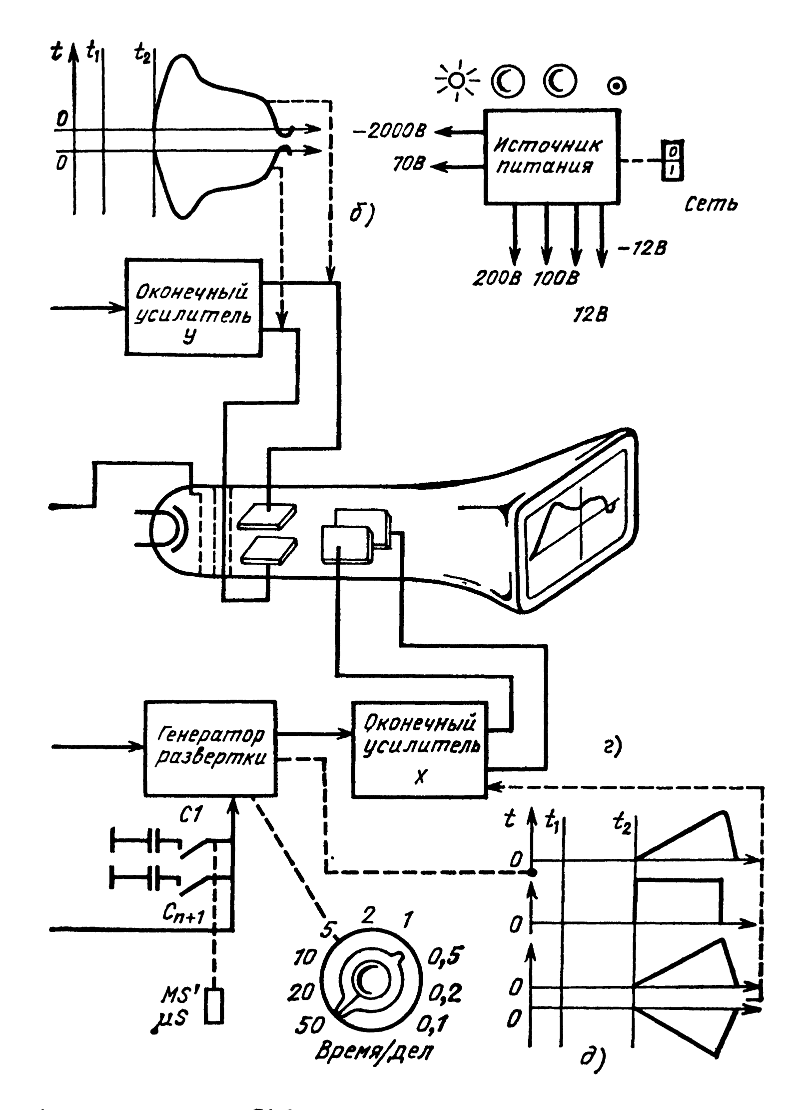


Рис. 1.5. Структурная схема осциллографа

Почти такое же число элементов имеет и осциллограф «Сага». Двухканальный осциллограф С1-92 имеет намного большие измерительные возможности (он позволяет рассматривать сигналы до 20 нс). Схема содержит: 1117 сопротивлений, 456 конденсаторов, 134 диода и диодных сборки, 230 транзисторов, 27 микросхем и свыше 400 разъемов. Такой прибор обеспечивает одновременное изображение двух сигналов — всей формы



общего применения С1-94

сигнала на основной развертке, детальное исследование любой части сигнала при помощи задержанной развертки и др. Но при этом в структурных схемах С1-94 и С1-92 много общего.

Двухканальный широкополосный универсальный осциллограф С1-92. Структурная схема (рис. 1.6) отличается от схемы на рис. 1.5 введением второго усилительного канала, совершенной

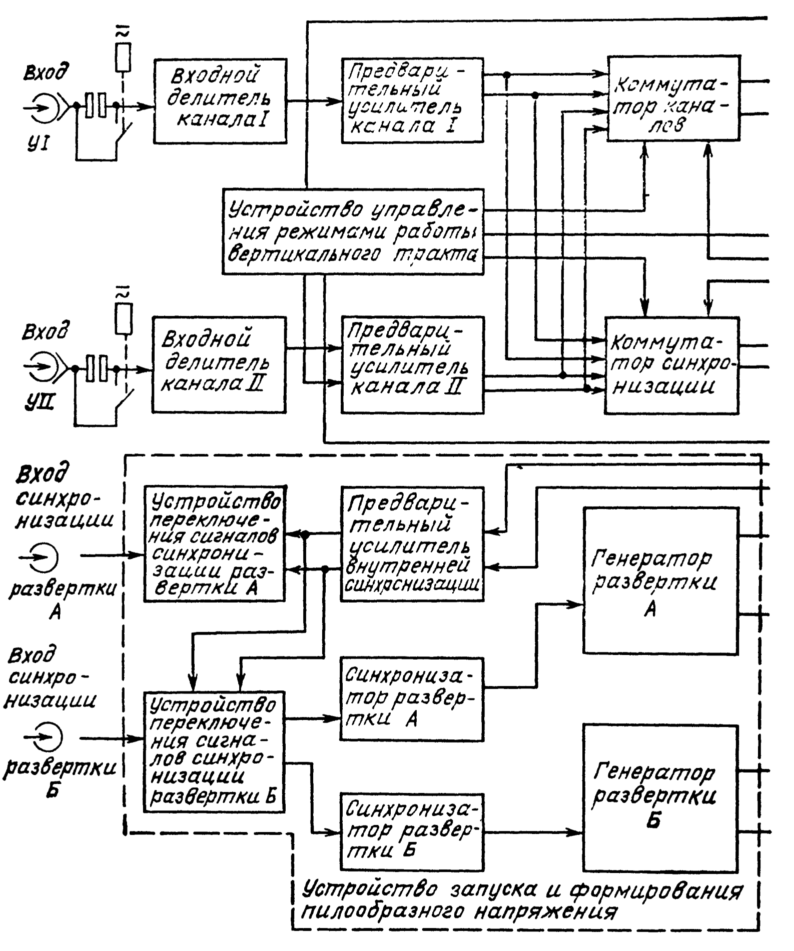
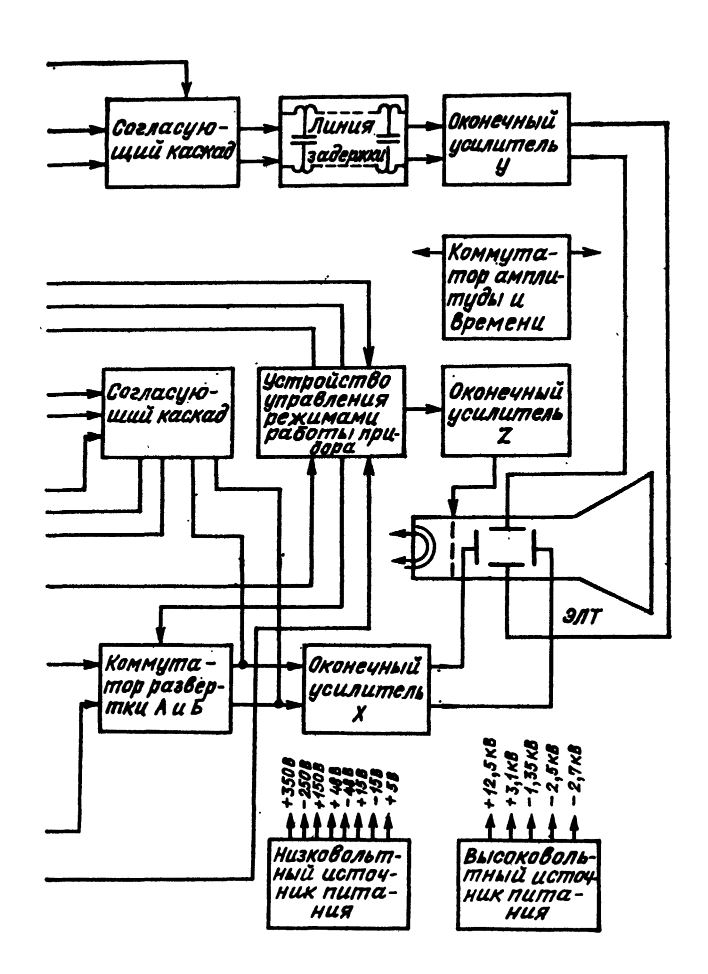


Рис. 1.6. Структурная схема двухканального широкополосного универсального

схемой двойных разверток и другими узлами, повышающими универсальность прибора.

Устройство управления режимами работы вертикального тракта предназначено для обеспечения режима работы коммутатора (канал *I*, канал *II*, поочередное переключение каналов с независимой частотой и суммирование), выбора сигналов синхронизации, переключения полосы пропускания (со 100 МГц на 20 МГц с одновременным повышением чувствительности с 5 мВ/дел до 2 мВ/дел) и изменения полярности сигнала в канале *II*.

Коммутатор каналов служит для обеспечения одноканального и двухканального режимов работы прибора, коммутатор



осциллографа С1-92

синхронизации обеспечивает внутреннюю синхронизацию одной из разверток сигналами канала *I* или канала *II* в одноканальном режиме и внутренней синхронизации разверток *А* и *Б* в двухканальном режиме.

Устройство запуска и формирования пилообразного напряжения предназначено для запуска генераторов *А* и *Б* синхронно с исследуемым сигналом, а также для создания временных разверток *А* и *Б* на экране ЭЛТ.

Устройства переключения сигналов синхронизации разверток *А* и *Б* позволяют выбирать: вид синхронизации (от сети, внешним или исследуемым сигналом), полярность синхрониза-

ции, включать делитель синхронизации (1 : 10), режим генератора развертки (автоколебательный, ждущий, однократный).

Коммутатор развертки *А* и *Б* обеспечивает одновременное наблюдение на экране ЭЛТ двух сигналов с разными временными масштабами в двухканальном режиме работы коммутатора.

Устройство управления режимами работы горизонтального тракта коммутирует каналы и обеспечивает вид синхронизации, установленный оператором, подключает поочередно развертки *А* и *Б* к каналу *X*, формирует импульс подсвета специальной формы для подсвета прямого хода развертки *А* и яркостной метки на время работы задержанной развертки *Б*, формирует импульс гашения луча на экране ЭЛТ в момент переключения каналов с независимой частотой, обеспечивает чередование импульсов подсвета прямого хода развертки синхронно с подключением разверток *А* и *Б* в поочередном режиме коммутатора и чередование импульсов подсвета прямого хода развертки *А* и подсвета прямого хода задержанной развертки *Б* синхронно с поочередным подключением разверток к каналу *X*.

Калибратор амплитуды и времени выдает на выходе положительные импульсы прямоугольной формы амплитудой 0,6 В, частотой 1 кГц и скважностью 2.

Структурные схемы аналоговых запоминающих осциллографов по сути не отличаются от незапоминающих, они имеют несколько дополнительных узлов для управления ЗЭЛТ.

1.4. ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ТРУБКИ (ЭЛТ)

Общие принципы построения ЭЛТ. В осциллографических устройствах применяются ЭЛТ с электростатическими фокусировкой и отклонением луча. Электронно-лучевые трубки — это сложный электровакуумный прибор, состоящий в основном из трех главных частей: источника потока электронов, системы их фокусировки и системы управления лучом.

Источником потока электронов (луча) является оксидный катод. Эмиттирующая поверхность катода имеет круглую форму малого диаметра, что способствует получению тонкого и симметричного относительно оси электронного пучка. Нить подогревателя катода *1* свертывается бифилярно, чтобы магнитное поле, создаваемое током подогрева, не влияло на электронный поток (рис. 1.7).

Катод помещен внутри цилиндра с центральным отверстием, называемым управляющим электродом или модулятором *2*. На цилиндр подается отрицательный по отношению к катоду потенциал; значение его позволяет менять плотность луча электронов, а следовательно, и яркость луча на экране.

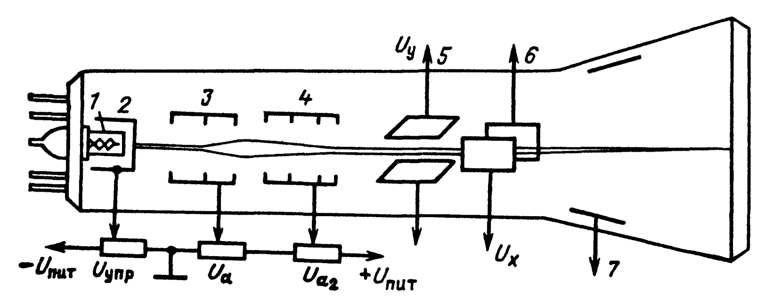


Рис. 1.7. Основные части ЭЛТ

Фокусировку луча и начальное ускорение электронов по пути к экрану обеспечивают две электростатические линзы. Такие линзы создаются электростатическими полями между модулятором и первым анодом *3* (первая линза) и между первым и вторым анодами (вторая линза). Второй анод *4* — это главное устройство фокусировки — находится около отклоняющих пластин и собственно этот электрод обеспечивает фокусировку луча. Далее идет третий узел трубки — отклоняющие пластины *5* и *6*. После них расположен послеускоряющий анод *7*, увеличивающий яркость луча. На рис. 1.8,*а* * показан внешний вид ЭЛТ типа 8ЛО7И, примененной в осциллографе «Сага» (слева), и ЭЛТ 8ЛО6И — в осциллографе С1-112, а на рис. 1.8,*б* дана схема цоколевки трубки 8ЛО7И.

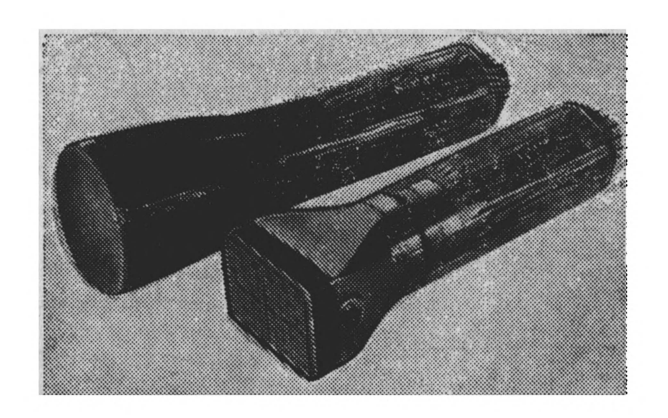
Отклонение луча прямо пропорционально осевой длине отклоняющих пластин и расстоянию от них до экрана и обратно пропорционально расстоянию между пластинами и анодному ускоряющему напряжению.

Ближайшая к катоду пара пластин, на которую подается исследуемое напряжение, называется *вертикально отклоняющими пластинами* (по оси *Y*), а следующие за ними пластины — *горизонтально отклоняющими* (по оси *X*), на них подается напряжение развертки. Для получения высокой чувствительности скорость движения электронов на участке отклонения должна быть низкой. Но при этом уменьшается яркость свечения экрана *12*, поэтому для сохранения яркости электроны нужно дополнительно разогнать с помощью ускоряющих электродов, расположенных за отклоняющими пластинами.

Система ускорения электронов после отклонения (ее называют *система послеускорения*) бывает различной: например, в виде спирали из графитовой смеси, один вывод которой соединяется с анодом, а второй — с экраном, или более современным способом — на пути луча помещают куполообразную ме-

---

* Нумерация электродов здесь и далее приведена в соответствии с паспортом на трубку.



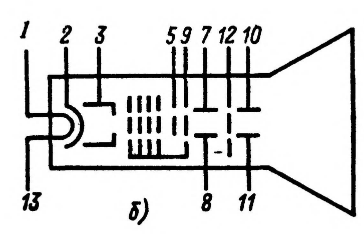


Рис. 1.8. Внешний вид ЭЛТ 8ЛО7И в осциллографе «Сага» (слева) и ЭЛТ 8ЛО6И в осциллографе С1-112 (*а*) и схема цоколевки ЭЛТ 8ЛО7И (*б*):

1, 13 — подогреватель; *2* — катод; *3* — модулятор; *5, 9* — первый и второй аноды; *7, 8* — сигнальные пластины *Y1, Y2*; *10, 11* — временные пластины *X2, X1*; *12* — экран

таллическую сетку, а на баллон трубки наносят токопроводящее покрытие. Большая разность потенциалов, приложенная между сеткой и токопроводящим покрытием, создает сильное электростатическое поле, которое кроме ускорения луча дополнительно отклоняет его, увеличивая общую чувствительность отклонения.

Электронно-лучевые трубки изготавливают с экраном диаметром от 3 до 23 см. Угол отклонения луча равен 12—18°. В осциллографах чаще всего применяются экраны ЭЛТ с люминофором на основе сульфида цинка и кадмия, имеющих зеленое свечение и среднее время послесвечения (10^{-2}—10^{-1} с). В ЭЛТ с длительным послесвечением применяют экраны с несколькими слоями люминофора различного состава. Для увеличения четкости изображения слой люминофора в ЭЛТ покрывают (как и в кинескопах) слоем алюминия, что повышает яркость и контрастность изображения.

Характеристики ЭЛТ.

Разрешающая способность ЭЛТ — это мера различения деталей изображения, она равняется диаметру светового пятна и составляет для большинства трубок 0,5—1 мм. В ЭЛТ с волоконной оптикой диаметр луча в центре экрана имеет 0,2 мм при высокой яркости. В этих трубках экран создается из большого числа стеклянных волокон, скрепленных боковыми частями друг

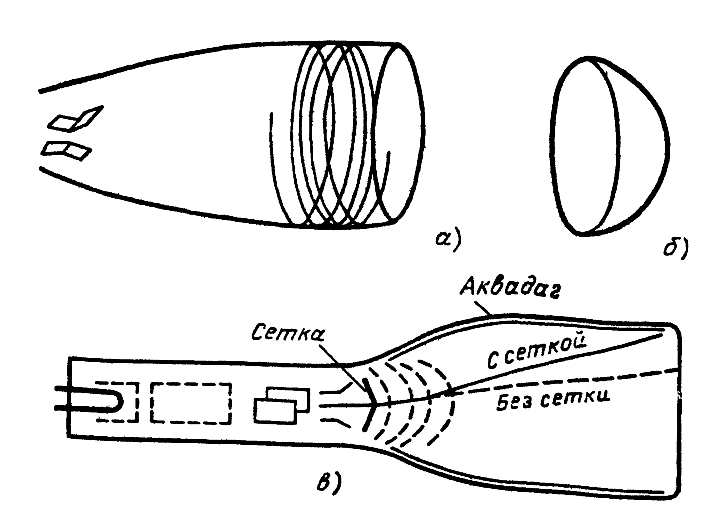


Рис. 1.9. Схема увеличения коэффициента отклонения ЭЛТ с послеускоряющим электродом в виде спирали (*а*), с тонкодисперсной сеткой (*б*) и трубка (*в*) с сеткой *б*

с другом. Такие ЭЛТ применяют в скоростном осциллографе С9-4А.

Диапазон рабочих напряжений. Напряжения на электроды ЭЛТ снимаются с делителя напряжения, подключенного к высоковольтному источнику. Для большинства трубок на второй анод подается положительное относительно катода напряжение 800—3000 В, а на фокусирующий анод (первый) — от 0,2 до 0,5 указанного значения. Запирается ЭЛТ отрицательным относительно катода напряжением 30—90 В, причем запирающее напряжение возрастает с ростом напряжения на первом аноде. Увеличение напряжения накала выше номинального (6,3 В) резко снижает срок работы трубки. Катод ЭЛТ обычно находится под большим отрицательным потенциалом по отношению к земле.

Для осциллографов, применяющихся в физических, ядерных исследованиях особенно важна такая характеристика, как скорость записи, т. е. максимальная скорость перемещения луча, которая еще может фиксироваться на фотопленке (0,1 плотности потемнения пленки над плотностью вуали).

Скорость записи зависит от яркости, степени уменьшения изображения, светосилы объектива, светочувствительности пленки, режима трубки и т. д.

Коэффициент отклонения — это отклонение электронного пятна на экране при приложении к отклоняющей системе постоянного напряжения 1 В. Коэффициент отклонения ЭЛТ по осям *Y* и *X* определяет требования к усилителям каналов вер-

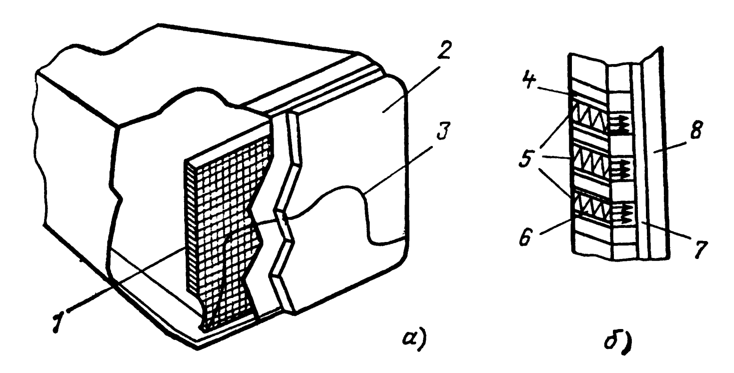


Рис. 1.10. Устройство микроканального умножителя:

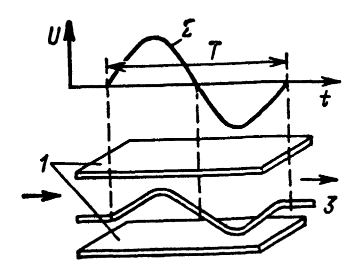
а — эскиз устройства; *б* — разрез шайбы МКУ; *1* — шайба микроканального умножителя; *2* — экран ЭЛТ; *3* — изображение на экране; *4* — внутреннее покрытие; *5* — ход электронов на входе и на выходе; *6* — каналы; *7* — люминофор; *8* — экран

тикального и горизонтального отклонения. Значение коэффициента отклонения колеблется в больших пределах от 0,15 до 2 мм/В. Поскольку вертикально отклоняющие пластины находятся ближе к аноду, то их чувствительность на 15—20 % выше, чем горизонтально отклоняющих пластин.

Для увеличения коэффициента отклонения и яркости используют различные системы. Для повышения коэффициента отклонения при сохранении яркости луча применяют послеускоряющие аноды, расположенные за отклоняющими пластинами. Такой анод может иметь вид кольца из графитовой смеси (аквадага), но из-за того, что он вносит некоторые искажения, послеускоряющий электрод выполняют в виде спирального сопротивления из того же аквадага на 50—300 МОм. Один конец спирали соединяется со вторым ускоряющим анодом, а на другой конец подается напряжение послеускорения (рис. 1.9,*а*). В современных трубках для улучшения формы полей и усиления их действия на луч применяют еще специальные тонкоструктурные металлические выпуклые сетки (рис. 1.9,*б*), которые помещают между пластинами и проводящим покрытием колбы (рис. 1.9,*в*). Особенный выигрыш в скоростных ЭЛТ дает применение микроканальных умножителей. Такие умножители состоят из огромного числа микроэлектронных каналов (трубок диаметром в несколько микрометров), изготавливаемых из диэлектрика, внутренняя поверхность которых покрыта полупроводящим материалом с коэффициентом вторичной эмиссии больше единицы (рис. 1.10). Влетающий электрон выбивает вторичные электроны, что во много раз увеличивает яркость луча, а следовательно, позволяет снизить энергию электронов в области отклонения, уменьшить зазор между отклоняющими пластинами и значительно увеличить чувствительность.

Рис. 1.11. Прохождение луча между отклоняющими пластинами при равенстве периода рассматриваемого сигнала и времени пролета электронов вдоль пластин:

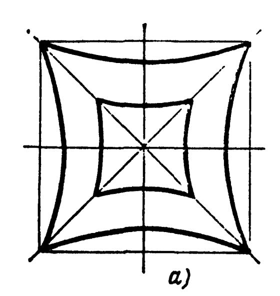
1 — пластины *Y*; *2* — форма напряжения на пластинах *Y*; *3* — луч не отклоняется



Граничная частота. Выше этой частоты сигналы, поданные на пластины ЭЛТ, не дадут изображения. На граничную частоту влияют емкость отклоняющих пластин и время пролета электронов между ними. Каждая пара отклоняющих пластин представляет собой конденсатор, емкость которого колеблется от 1 до 12—15 пФ, поэтому с повышением частоты входного сигнала до десятков и сотен мегагерц эта емкость начинает искажать форму сигнала. При граничной частоте за первую половину периода луч будет отклоняться, а за вторую половину возвращаться на исходную позицию (рис. 1.11), т. е. коэффициент отклонения станет почти равен нулю. Для трубок с обычной конфигурацией пластин длиной 1,5—2 см и при напряжении второго анода 1,5—2 кВ граничная частота будет примерно равна 150 МГц. Дальнейшее повышение исследуемых частот достигается применением в ЭЛТ вертикально отклоняющих систем с распределенными параметрами или с системой бегущей волны, расширяющими верхний предел исследуемых частот до 3000 МГц (см. рис. 1.13). В ЭЛТ 10ЛО105А (осциллограф С7-19) полоса частот достигает 5000 МГц.

Рабочая часть экрана — это та часть, в пределах которой гарантируются все технические характеристики осциллографа. Практически для ЭЛТ 17ЛО1И (осциллограф С1-92) размеры экрана составляют 100×120 мм, для ЭЛТ 8ЛО6И — 40×60 мм (осциллограф С1-112), для прямоугольной трубки двухлучевого осциллографа 16ЛО2И размер экрана для каждого луча не менее 40×100 см и т. д.

Обозначения ЭЛТ. Первое число обозначения ЭЛТ определяет ее диаметр в сантиметрах (5, 8, 13 и т. д.); буква Л — электростатическая с электростатическим отклонением; буква О — с электростатической фокусировкой. Следующее число связано с порядковым номером разработки, а последняя буква обозначает цвет свечения экрана, длительность послесвечения и структуру экрана: покрытие типа И имеет зеленое свечение средней продолжительности (это покрытие наиболее благоприятно для визуального наблюдения процессов с частотой повторения свыше 10 Гц), покрытие типа А имеет голубое свечение малой продолжительности (это покрытие наиболее благоприят-



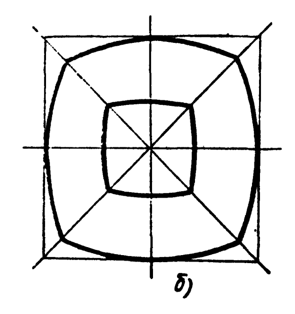


Рис. 1.12. Искажения изображений на экране ЭЛТ из-за появления дисторсии: *а* — подушкообразные; *б* — бочкообразные

но для фотографирования процессов с экрана ЭЛТ), покрытие типа В имеет длительное послесвечение (порядка нескольких секунд) и лучше всего подходит для визуального наблюдения процессов с малой частотой повторения и т. д.

Искажения изображения в ЭЛТ могут искажать форму исследуемого сигнала и таким образом приводить к неправильной его оценке. Эти искажения можно разделить на три группы: аберрация, дисторсия и астигматизм. Для того чтобы пятно имело наименьшие размеры и геометрически правильную форму, фокусирующая система должна быть строго симметричной по отношению к оси ЭЛТ. Практически же из-за кривизны экспоненциальных поверхностей фокусирующего поля электроны, находящиеся на краю луча, испытывают большее отклонение, чем те, которые находятся ближе к оси, и в результате очертания пятна размываются. Этот вид искажений называют *сферической аберрацией*. Во всех трубках существует явление *астигматизма,* заключающееся в искривлении формы пятна. При этом оптимальная фокусировка по двум взаимно перпендикулярным осям может быть достигнута при различных положениях ручки фокусировки. Если при отклонении луча от центра по радиусу коэффициент отклонения изменяется неравномерно, то происходит искажение поля (*дисторсия*). Если по мере увеличения радиуса коэффициент отклонения увеличивается, изображение квадрата становится *подушкообразным* (рис. 1.12,*а*), если уменьшается, то появляются *бочкообразные* искажения (рис. 1.12,*б*). Для уменьшения всех этих искажений вводится отдельная регулировка астигматизма, проводится подбор среднего потенциала каждой пары пластин, тщательный монтаж и экранировка.

Специализированные ЭЛТ. К ним относятся двухлучевые ЭЛТ, имеющие две отдельные системы электронных пушек. Отклоняющие системы иногда имеют отдельные выводы для двух отдельных генераторов развертки, но чаще всего обе

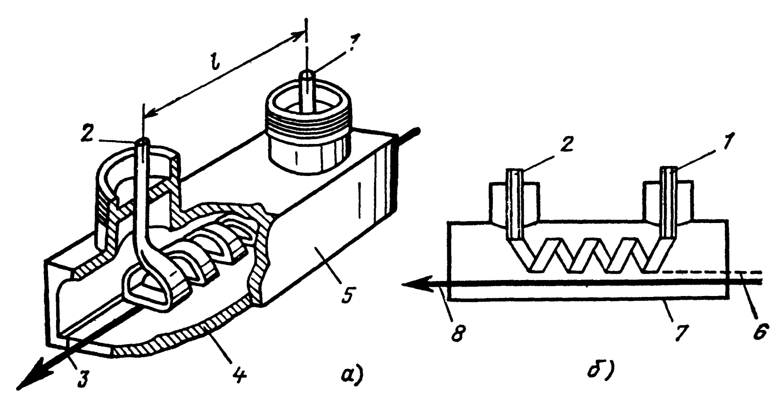


Рис. 1.13. Схема системы отклонения типа бегущей волны высокочастотной ЭЛТ 13ЛО102М:

а — эскиз конструктивного выполнения; *б* — схема движения электрона; *1* — вход; *2* — выход; *3* — след луча; *4* — заземленная пластина; *5* — экран; *6* — низ спирали; *7* — низ экрана; *8* — электронный луч (ось *Z*); *l* — рассчитанное расстояние между входом и выходом

системы отклоняющих пластин питаются от общего генератора развертки. Регулировка яркости и фокуса производится отдельно для каждой пушки.

Высокоскоростные ЭЛТ. Вводы их пластин выполнены в виде коаксиальных линий. Исследуемый сигнал подается на отклоняющие пластины ЭЛТ через один коаксиал, а другой коаксиал нагружается на сопротивление, равное волновому. В такой отклоняющей системе бегущей волны электронный луч проходит между одной пластиной, в качестве которой служит плоская сторона экрана, и второй — нижняя сторона металлической ленты — спираль, которая служит отклоняющим элементом (рис. 1.13). В этих системах время пролета перестает вызывать искажения изображения — оно как бы перестает влиять на луч, и поскольку каждый виток спирали действует на электроны луча в одном направлении, то общая чувствительность к отклонению будет повышена. В скоростной ЭЛТ типа 10ЛО105А прибора С7-19 применена система жесткой фокусировки и управления триплетом квадрупольных линз, предназначенная для фокусировки луча ЭЛТ и для улучшения ее разрешающей способности. Квадрупольная линза состоит из четырех магнитных полюсов, расположенных симметрично на кольцевом экране. На каждом полюсе помещена катушка, задающая магнитный поток. Питание катушек от источника постоянного тока происходит таким образом, что противоположные полюса имеют одинаковую полярность, а соседние — разную.

В квадрупольных линзах основные составляющие магнитного поля направлены поперек движения электронов, поэтому их называют линзами с жесткой фокусировкой. Таких квадруполь-

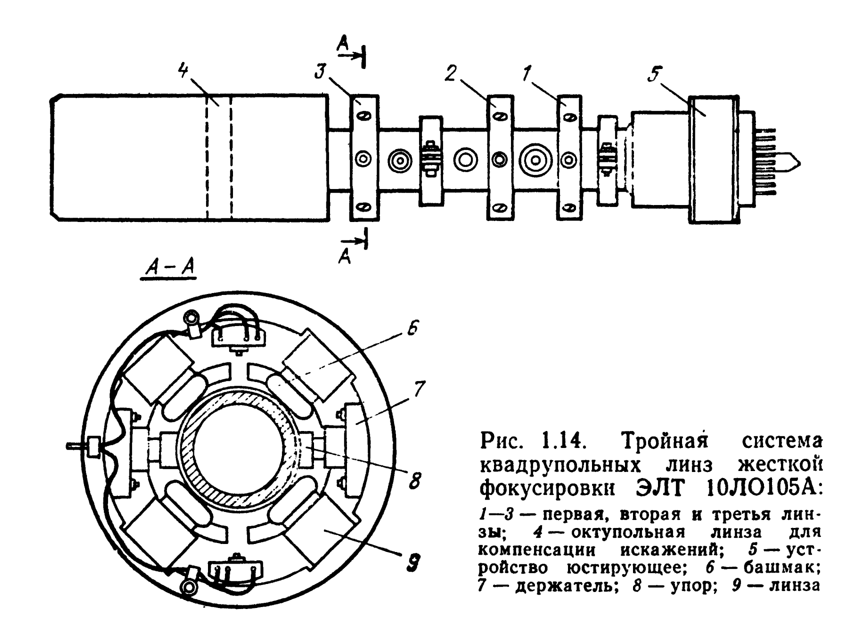


Рис. 1.14. Тройная система квадрупольных линз жесткой фокусировки ЭЛТ 10ЛО105А: *1—3* — первая, вторая и третья линзы; *4* — октупольная линза для компенсации искажений; *5* — устройство юстирующее; *6* — башмак; *7* — держатель; *8* — упор; *9* — линза

ных систем три. Первая и третья линзы (рис. 1.14) расположены так, что их плоскости фокусировки совпадают с плоскостью горизонтального отклонения луча, плоскость фокусировки второй линзы совпадает с плоскостью вертикального отклонения.

Линза *1* и линза *2* располагаются в области отклоняющей системы. Линза *3* выполняет роль послеотклоняющей системы и помещается между отклоняющей системой и *X*-пластинами. Для компенсации искажений (дисторсий), свойственных всем ЭЛТ с послеотклонением, применена специальная октупольная линза *4*, состоящая из восьми полюсов и установленная в зоне действия послеускоряющей спирали.

Такая фокусировка и шайба с микроканальными усилителями обеспечивают уверенную скорость записи не ниже 250 000 км/с.

Запоминающие ЭЛТ (ЗЭЛТ). В таких трубках, называемых также *потенциалоскопами*, имеется диэлектрическая мишень, и запись электрических зарядов производится на поверхности мишени, находящейся на металлической подложке (сигнальной пластине). Запись осуществляется при помощи электронного луча, пробегающего элементы мишени, причем количество заряда, нанесенного на данный элемент поверхности мишени, пропорционально току этого луча.

По принципу действиия ЗЭЛТ делят на три основные группы: полутоновые, бистабильные и комбинированные.

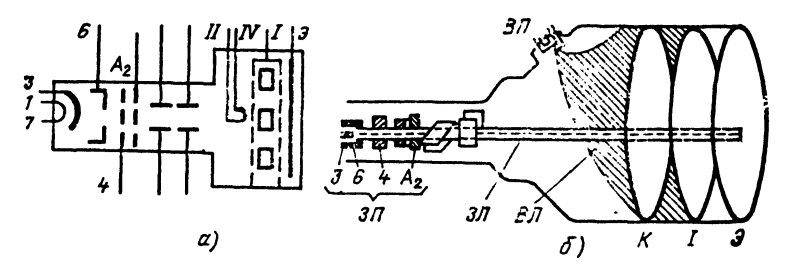


Рис. 1.15. Устройство запоминающей полутоновой ЭЛТ:

а — расположение выводов; *б* — эскиз устройства; *ВП* — воспроизводящий прожектор; *ВЛ* — воспроизводящий луч; *ЗП* — записывающий прожектор; *ЗЛ* — записывающий луч; *К* — коллекторная сетка; *I* — мишень; *Э* — экран; *II*, *IV* — накал воспроизводящего прожектора; A_2 — второй анод; *1*, *7* — накал записывающего прожектора; *3* — катод; *4* — первый анод; *6* — модулятор

В *полутоновых ЗЭЛТ* электрические сигналы преображаются в видимое изображение, яркость которого в каждой точке пропорциональна току записывающего луча и имеет его градации, а в бистабильных трубках электрический сигнал имеет только два тона — светлый и темный. Каждый из этих видов имеет свои преимущества. Полутоновая ЗЭЛТ имеет дополнительные устройства: мишень *I*, коллекторную сетку *К* и воспроизводящую пушку (рис. 1.15). В обычном режиме в этой трубке работает только основная электронная пушка (записывающая), фокусировка и отклонение луча производится так же, как и в обычной ЭЛТ.

Запоминание осуществляется специальной мишенью, расположенной около экрана *Э*. Эта мишень состоит из густой металлической сетки (около 10 000 ячеек на 1 см^2) и слоя диэлектрика, способного излучать большое количество вторичных электронов при попадании на него электронного луча. Между сеткой и диэлектриком проложена тончайшая изолирующая прокладка, препятствующая попаданию выбитых электронов на сетку. Благодаря этой прокладке сетка и слой диэлектрика образуют подобие конденсатора. В непосредственной близости от мишени располагается коллекторная сетка. Записывающий луч состоит из быстрых электронов и воспроизводит форму сигнала, пробегая по диэлектрику мишени, выбивая вторичные электроны и оставляя положительно заряженные участки. Если теперь включить воспроизводящий прожектор, то его медленные электроны могут проникнуть через положительно заряженные участки, они ускоряются большим положительным зарядом алюминизированного экрана и, ударяясь о люминофор, вызывают его свечение. На экране появляется то изображение, которое было начерчено на мишени. Вторичные электроны притягиваются положительно заряженным коллектором и обратно на мишень не попадают. Время воспроизведения в реальных условиях, т. е.

время, пока можно наблюдать изображение на экране, очень ограничено (для трубки 13ЛН10, например, оно не более 1 мин). Это происходит потому, что электроны воспроизводящего луча сталкиваются с оставшимися в колбе молекулами газов, образуя положительные ионы, которые нейтрализуют отрицательный заряд мишени. Мишень перестает быть пригодной для воспроизводящих электронов, они свободно проходят к экрану, весь экран начинает светиться и на общем светлом фоне изображение теряется. Если же сразу по получении на экране изображения сигнала осциллограф выключить, то записанное электрически на мишени изображение (потенциальный рельеф) может существовать довольно длительное время (от 18 ч до 7 сут) и может быть воспроизведено при повторном включении осциллографа. Стирается изображение подачей положительного прямоугольного импульса на металлическую сетку мишени памяти. Мишень становится прозрачной для медленных электронов, и они пролетают сквозь нее по всей площади и вызывают сильное свечение экрана, стирая изображение. После прекращения действия стирающего импульса потенциал сетки мишени и диэлектрика падает, свечение экрана прекращается и трубка вновь готова к записи.

Бистабильные запоминающие ЭЛТ (БЗЭЛТ) применяются в основном для регистрации однократных и медленно изменяющихся переходных процессов длительностью до 10 ч. В таких трубках создаются два стабильных уровня потенциала мишени, которые удерживаются сколь угодно долго. Один из них — непрерывно работающий воспроизводящий луч электронов малых энергий — поддерживает нулевое значение потенциала диэлектрика мишени перед записью.

Поскольку плотность тока записывающего луча значительно превышает плотность тока воспроизводящего луча, потенциал диэлектрика при записи повышается и далее будет возрастать до устойчивого значения — потенциала коллекторной сетки, расположенной непосредственно перед мишенью, и будет поддерживаться на этом уровне воспроизводящим лучом. Часть электронов воспроизводящего луча проходит через положительно заряженные участки мишени и вызывает свечение люминофора экрана. Стирается потенциальное изображение понижением потенциала на коллекторе до потенциала воспроизводящего луча. Как только потенциал этих участков мишени станет меньше критического, коэффициент вторичной эмиссии станет меньше единицы, потенциал диэлектрика упадет до нуля и изображение исчезнет.

Матричные экраны. В некоторых осциллографических устройствах применяют матричные экраны (например, в индикаторе скоростных процессов и осциллографе С9-6, работающем с ЭВМ и выдающем данные на линию коллективного пользова-

ния). *Матричный экран — газоразрядная индикаторная панель* (рис. 1.16), представляющая собой совокупность единичных газоразрядных ячеек, имеющих общую стеклянную матрицу *3* с отверстиями *2*, образующими рабочие объемы ячеек и системы взаимно ортогональных электродов *1*, *4*, размещенных на обкладочных пластинах *5*, *6*. Совмещают элементы конструкции таким образом, чтобы на осях отверстий *2*, перфорированных в средней изолирующей пластине *3*, лежали проекции перекрестий соответствующих взаимно перпендикулярных катодных *1* и анодных *4* электродов на плоскость каждой из обкладочных пластин *5*, *6*. В результате такого совмещения каждое перфорированное отверстие и прилегающие к нему участки катодных и анодных электродов образуют диодную ячейку. Панель загерметизирована по периметру специальным герметиком и внутренняя ее полость заполнена неоно-аргоновой смесью при давлении 150—300 мм рт. ст.

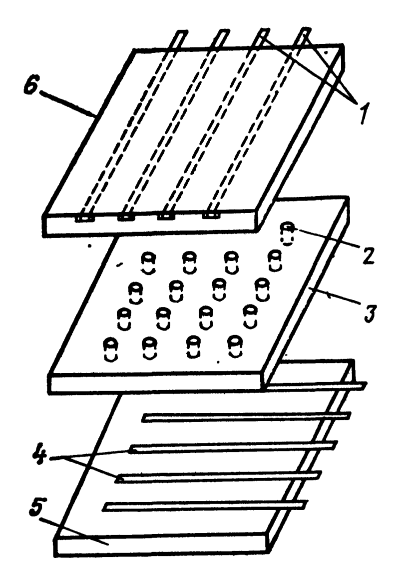


Рис. 1.16. Схема конструкции матричного экрана

Такие панели дают большую яркость тлеющего разряда при относительно высокой эффективности преобразования электрической энергии в световую.

В осциллографе С9-6 применен индикатор — газоразрядная панель типа ИМБ-1-01 с размером экрана 100×100 мм и числом элементов 10 000 (100×100). Питание панели производится от источников +250 В и 5 В. На этот индикатор подается двоичный код, который дополнительным дешифратором преобразуется в видимое изображение по точкам. Матричный экран 256×256 точек применен также в прецизионном вычислительном стробоскопическом осциллографе С9-9. Размеры экрана 150×150 мм.

Кроме газоразрядных панелей в осциллографах применяют и жидкокристаллические и светодиодные экраны.

Глава 2

ОСНОВНЫЕ БЛОКИ ОСЦИЛЛОГРАФА

2.1. КАНАЛ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ

На структурных схемах рис. 1.5 и 1.6 показаны основные блоки, определяющие характеристики, а следовательно, и области применения осциллографов. Как уже было сказано в § 1.3, эти блоки составляют каналы вертикального и горизонтального отклонения, вспомогательные устройства и источники питания.

Канал вертикального отклонения состоит из входных устройств каскадов предварительного усиления, линии задержки и оконечных каскадов усиления.

Основное требование к усилителю вертикального отклонения заключается в том, чтобы он вносил как можно меньше искажений формы сигнала и наряду с этим имел бы необходимый коэффициент усиления.

В качестве примера схемных решений усилителя вертикального отклонения рассмотрим схему канала *Y* простого осциллографа широкого применения.

Схема канала *Y* осциллографа «Сага». Канал вертикального отклонения «Саги» (рис. 2.1) состоит из переключателя входа входного делителя (на схеме не показаны) и собственно усилителя. Кнопочный переключатель входа подает сигнал на входной делитель либо непосредственно (открытый вход), либо через разделительный конденсатор (закрытый вход). Входной делитель обеспечивает три коэффициента деления 1 : 1, 1 : 10, 1 : 100, в нем применены точные резисторы, значение сопротивления которых подобраны так, чтобы обеспечить постоянное значение входного сопротивления независимо от положения переключателя чувствительности. Частотная компенсация входного делителя во всей полосе частот производится двумя подстроечными конденсаторами. С выхода входного делителя исследуемый сигнал поступает на входной каскад усилителя, собранный на полевом транзисторе *VT1* по схеме истокового повторителя для обеспечения большого входного сопротивления и малой входной емкости. Защита входа от перегрузок обеспечивается диодом *VD1* и стабилитроном *VD2*.

Предварительный усилитель выполнен двухкаскадным с глубокой отрицательной обратной связью на транзисторах *VT2*—*VT5*, *VT7* и *VT8*. Такая обратная связь позволяет получить широкую полосу пропускания, не уменьшающуюся при ступенчатом изменении усиления в 2 и 5 раз (каскад на транзисторах *VT2*, *VT3*). Это изменение коэффициента усиления производится изменением сопротивления между эмиттерами транзисторов *VT2*

и *VT3* (сопротивления *R171*=162 Ом и *R177*=52 Ом размещены во входном делителе между точками схемы *4* и *2* и на рис. 2.1 не показаны).

Балансировка усилителя осуществляется изменением потенциала базы транзистора *VT3* резистором *R6* (БАЛАНС), который выведен под шлиц на боковую стенку. Смещение луча по вертикали производится изменением потенциалов коллекторов транзисторов *VT2* и *VT3* резистором *R178* (↕), выведенным на лицевую панель прибора.

Паразитные связи по цепям питания предварительного усилителя исключаются питанием усилителя через фильтр *R24*, *R43*, *C1*, *C9* от источника —10 В и через фильтр *R26*, *R29*, *C5* и *C9* от источника +11,4 В. Дальнейшее усиление сигнала производится транзисторами *VT7* и *VT8*. В эмиттерных цепях этих транзисторов включен подстроечный резистор *R39*. С его помощью регулируют общий коэффициент усиления. В осциллографах С1-94 и С1-112, где применяют сходные схемы усилителей вертикального отклонения, нагрузкой этого каскада является линия задержки сигнала относительно начала развертки на 110 нс.

Оконечный усилитель представляет каскадную схему на транзисторах *VT9*—*VT12*.

Коррекция усиления по высокой частоте осуществляется корректирующими цепочками C_{11}, C_{12}, R_{51}, обеспечивающими коррекцию коэффициента усиления в зависимости от положения переключателя *V/дел.* При необходимости корректировки калиброванных значений коэффициента отклонения при эксплуатации и смене ЭЛТ — эту корректировку КОРР УСИЛ производят резистором *R39*, выведенным под шлиц на боковую стенку. С эмиттера транзистора *VT6* сигнал поступает на вход схемы синхронизации для синхронного запуска схемы развертки. С коллекторных нагрузок *VT11* и *VT12* оконечного усилителя сигнал поступает на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ.

Осциллограф С1-94 имеет аналогичную схему усилителя вертикального отклонения, но в отличие от «Саги» в его канал *Y* включена линия задержки сигнала между предварительным и оконечным усилителями, она должна быть достаточно широкополосной и не вносить искажений. Нагрузочное сопротивление линии должно равняться ее волновому. В первых приборах линии задержки создавались из большого количества конденсаторов и катушек индуктивности, но сейчас ее получают с помощью отрезка коаксиального кабеля, имеющего распределение емкости и индуктивности. Для кабелей РК-2, РК-3, РК-6 задержка примерно одинакова и составляет 0,01 мкс на 1 м длины, для

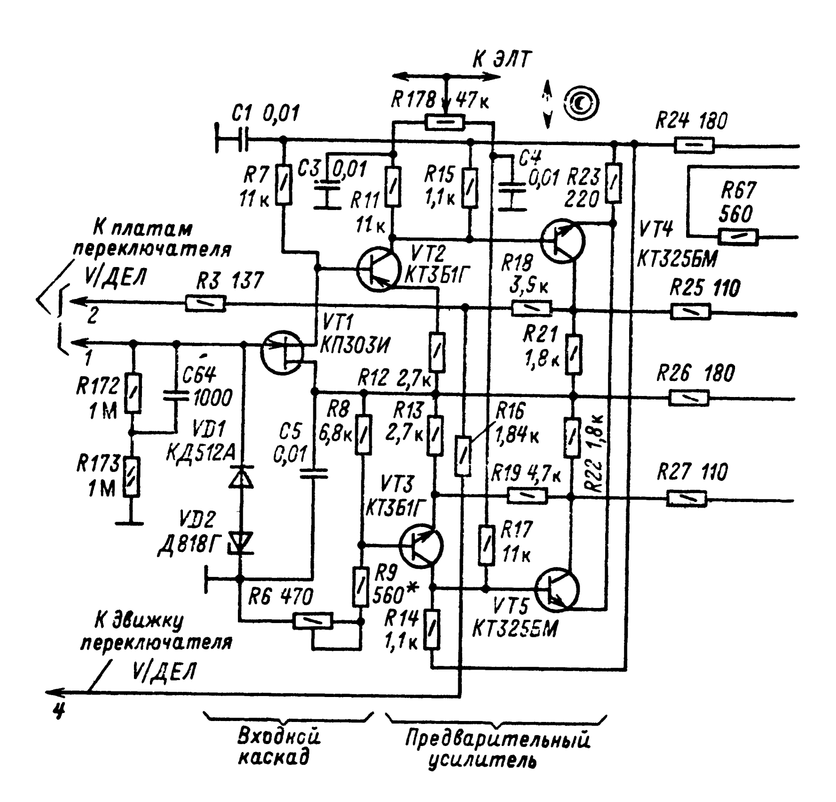
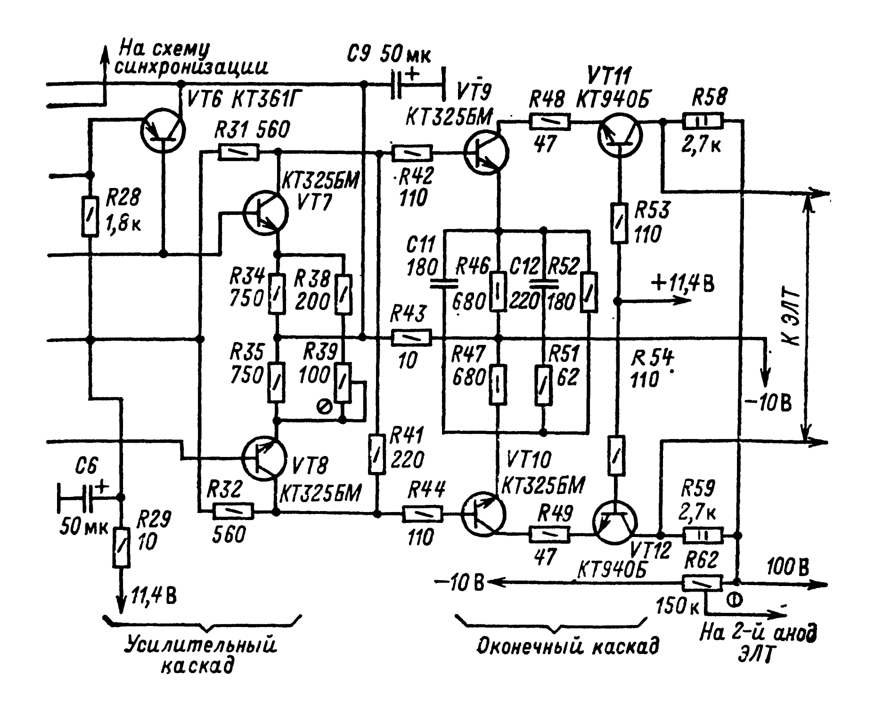


Рис. 2.1. Схема усилителя вертикального отклонения осциллографа широкого

кабелей со сплошной полиэтиленовой изоляцией типа РК-75-2-11 задержка составляет 5 нс/м, для специальных кабелей задержки 100 нс/м и более.

2.2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ

Коэффициент отклонения. Усиление (или ослабление) входного сигнала устанавливается положением ручки управления «мВ/см» (*дел*) или «В/см» (*дел*). Для большинства осциллографов широкого применения за стандартное значение коэффициента отклонения принимают 5 мВ/см. Это значит, что поданный на вход осциллографа сигнал с амплитудой 5 мВ отклонит луч на экране ЭЛТ на 1 см. Но для такого отклонения на пластины ЭЛТ, например, 8Л06И надо подать 8,5 В, т. е. усилить сигнал более чем в 1500 раз, причем это усиление должно быть постоянно во всей полосе частот и, как правило, чем шире полоса, тем меньше усиление удается получить. На рис. 2.2 пока-



применения «Сага»

зано увеличение погрешности измерения амплитуды сигнала A, происходящее из-за увеличения его частоты.

Важными параметрами осциллографа являются включенные параллельно *входное сопротивление* $R_{вх}$ и *входная емкость* $C_{вх}$. Этот входной импеданс, изменяясь в зависимости от частоты сигнала, изменяет амплитуду и форму сигнала в рассматриваемой схеме. Чем больше входное сопротивление и меньше входная емкость, тем меньше их влияние на работу подключенной схемы. Обычно у осциллографа $R_{вх}=1$ МОм, а входная емкость $C_{вх}=20\div40$ пФ, при использовании выносного пробника последняя уменьшается до 10 пФ.

Иногда $R_{вх}$ должно быть согласованным, и тогда его значение составляет 50 Ом, например, у осциллографа С1-108. У активных пробников входная емкость уменьшается до 2 пФ.

Обычно во входных каскадах ставятся полевые транзисторы по схеме истокового повторителя, что гарантирует высокое входное сопротивление. Основное усиление сигнала происходит в каскадах предварительного усиления, и именно эти каскады

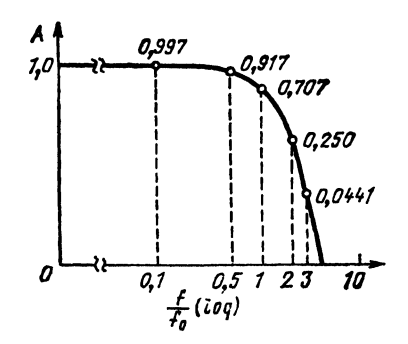


Рис. 2.2. Увеличение погрешности измерения амплитуды сигнала *A* из-за ухудшения пропускания усилителем вертикального отклонения высоких частот. На половине полосы пропускания ($f/f_0=0{,}5$) оно составляет ≈8 % (0,917 опорного уровня)

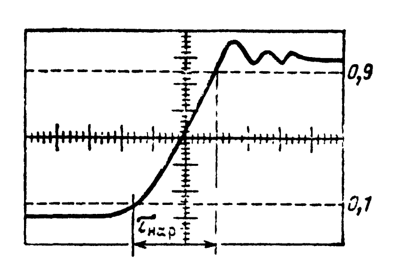


Рис. 2.3. Измерение времени нарастания переднего фронта ступенчатого сигнала:
Время/дел.: 1 мкс; $\tau_{нар}=1\times2{,}6=2{,}6$ мкс (шкала 80×100 мм)

определяют основные характеристики усилителя. Основным параметром усилителя является время нарастания переходной характеристики или полоса пропускания канала *Y*.

Время нарастания и полоса пропускания.

Верхняя граница полосы пропускания $f_{верх}$ определяет значение частоты, при которой усиление главного канала усиления — канала *Y* — уменьшается в 1,4 раза (3 дБ).

Время нарастания переходной характеристики (ПХ) — это время, в течение которого луч по экрану проходит от уровня сигнала 0,1 до уровня 0,9 — такие отметки часто делают на шкале ЭЛТ (рис. 2.3). Время нарастания $\tau_н$ и полоса частот связываются зависимостью $\tau_{нар}=350/f_{верх}$.

На рис. 2.4 изображены некоторые формы амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) канала *Y* и их влияние на воспроизведение на экране формы сигнала, прошедшего через этот канал. На рис. 2.4,*а* показаны идеальная АЧХ и изображение идеального перепада напряжения. Однако в большинстве осциллографов для повышения равномерности АЧХ в пределах полосы пропускания и получения максимальной ширины полосы при максимальном коэффициенте усиления оконечного каскада вводится коррекция АЧХ перед ее спадом. Эта коррекция может привести к выбросу на изображении импульса ($\delta_в$), следующего непосредственно после окончания времени нарастания (рис. 2.4,*в*). При длительности фронта импульса, во много раз превышающей время нарастания переходной характеристики, выброс на его изображении не наблюдается.

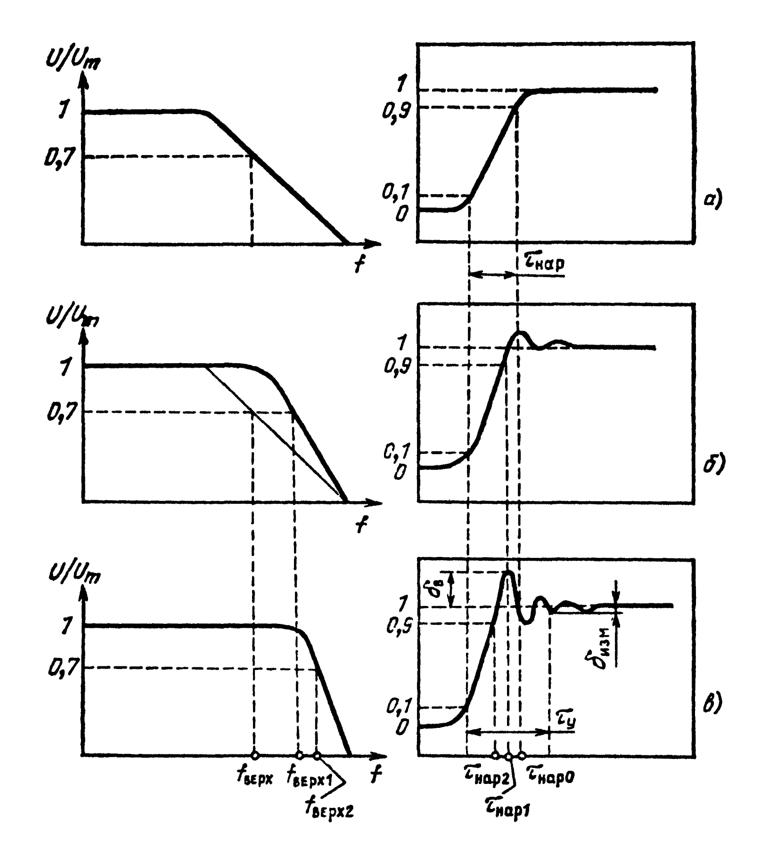


Рис. 2.4. Формы амплитудно-частотной характеристики осциллографа:
а — не дающей выброса; *б* — скомпенсированная для получения равномерности в пределах полосы пропускания; *в* — перекомпенсированная, создающая выброс; $\tau_{нар}$ — время нарастания ПХ (при различных формах АЧХ) соответственно $\tau_{нар0}$, $\tau_{нар1}$, $\tau_{нар2}$; $\tau_у$ — время установления ПХ осциллографа; $\delta_в$ — амплитуда выброса ПХ; $\delta_{изм}$ — погрешность измерения, на уровне которой измеряется $\tau_у$

Быстродействие осциллографа характеризуется также *временем установления* ПХ канала $Y(\tau_у)$, которое определяется интервалом времени между моментом начала, отсчитываемого от уровня 0,1 амплитуды изображения перепада, до момента уменьшения паразитных колебаний канала Y после выброса на переходной характеристике до значения, равного погрешности коэффициента отклонения или погрешности измерения.

Для осциллографов, у которых время нарастания канала Y близко времени нарастания исследуемого сигнала,

$$\tau_у = \sqrt{\tau^2_i - \tau^2_{нар}},$$

где $\tau_{нар}$ — время нарастания ПХ осциллографа, указанное в формуляре прибора; τ_i — измеренное время нарастания по экрану осциллографа.

Спад или плоская вершина импульса вызывается влиянием конечного значения разделительной емкости входной цепи при закрытом входе осциллографа. Неравномерность вершины может вызываться паразитным пролезанием импульса синхронизации на изображение плоской части импульса, полученное на широкополосном осциллографе.

Необходимо заметить, что усилитель, имеющий полосу пропускания 10 Гц — 1 МГц, может передавать без искажений синусоидальное колебание любой частоты этого диапазона, но этой же полосы будет недостаточно для усиления симметричного прямоугольного сигнала с частотой повторения выше 300 кГц.

Основные виды искажений тракта вертикального отклонения.

Частотные искажения вызываются неодинаковым усилением сигналов разных частот в полосе пропускания, а при исследовании импульсных сигналов вызывают ошибки измерения амплитуды. Причины частотных искажений различны на высоких и низких частотах. На низких частотах они происходят из-за влияния разделительных конденсаторов межкаскадной связи, а на высоких — из-за влияния паразитных емкостей монтажа и зависимости параметров транзисторов, ИС и ЭЛТ от частоты. Вводимые для уменьшения этих искажений элементы коррекции с течением времени могут стать дополнительными источниками искажений в связи с изменением своих параметров. Еще одним источником искажений может быть линия задержки, если она имеет неопределенности или плохо согласована.

Фазовые искажения, т. е. непостоянство изменения фазы с частотой (изменение отношения φ/f), искажают форму импульса. Фазовые отношения усилителя осциллографа обычно не измеряют и не нормируют, так как фазовая характеристика тесно связана с частотной, идеальная фазовая характеристика начинается с нуля и проходит до $f_{верх}$ прямой восходящей линией. Чтобы фазовая характеристика была хорошей, частотная должна быть равномерной в полосе пропускания, а за ее пределами спадать достаточно плавно.

Амплитудными искажениями называют неодинаковое усиление сигналов разной амплитуды. Они возникают из-за нелинейности характеристик транзисторов и отклоняющей системы трубки. Основным источником амплитудных искажений обычно служат оконечные каскады усилителя вертикального отклонения и отклоняющая система, так как они работают при больших амплитудах сигналов. Однако при неправильной эксплуатации осциллографа каскады предварительного усиления могут перегрузиться и сами стать источником амплитудных искажений. Для возможности подачи на вход осциллографа сигналов боль-

шой амплитуды применяют входные делители, которые в современных широкополосных осциллографах создаются по толстопленочной технологии на кремниевых или ситалловых подложках. Их компонуют в отдельных корпусах, и они имеют обычно положения 1 : 2, 1 : 4, 1 : 10, 1 : 100.

Выходные каскады усилителей сигналов. Выходные каскады строят по симметричной схеме, и сигнал подводится к пластинам ЭЛТ отсимметрированным. Причин для этого несколько: при симметричном питании отклоняющих пластин луч меньше расфокусируется отклоняющей системой, симметричные схемы усилителей имеют меньший дрейф, лучшую линейность, потому что одновременная подача напряжений различной полярности на пластины приводит к притяжению к одной и подталкиванию со стороны другой отклоняющей пластины. Общая раскачка получается вдвое большей от тех же транзисторов при тех же питающих напряжениях, в симметричных выходных каскадах легче получить широкую полосу пропускания.

В приборах со сменными блоками оконечные выходные каскады размещают в базовом блоке прибора, в этом случае их параметры должны обеспечивать устойчивую работу с любым сменным блоком, а полоса частот оконечного каскада должна перекрывать полосу самого широкополосного блока.

Усилители постоянного тока. Во всех современных осциллографах отклоняющие системы имеют непосредственную связь с выходными каскадами усилителей, а сами усилители — непосредственную связь между каскадами. Это обеспечивает полное отсутствие фазовых и частотных искажений на низших частотах и часто позволяет ускорить проведение измерений (при проверке транзисторных схем можно сразу определить максимальное и минимальное значения напряжения на коллекторе при подаче на вход сигнала сложной формы).

В выпускающихся в прежние годы осциллографах усилитель постоянного тока применялся нечасто. Обычно их разрабатывали совместно с усилителями переменного тока, в которых между входным гнездом прибора и первым каскадом усиления помещался разделительный конденсатор. Он изолировал вход усилителя от любого постоянного напряжения, которое могло находиться в испытываемом устройстве, но позволял переменному напряжению сигнала пройти на вход усилителя вертикального отклонения. Цепи межкаскадной связи такого усилителя также могли иметь разделительные конденсаторы.

В усилителе постоянного тока такого конденсатора нет. Поэтому как присутствующий в исследуемом устройстве постоянный потенциал питания или сигнала, так и переменная составляющая сигнала вызывают отклонение луча на экране ЭЛТ. Разделительный конденсатор в осциллографе ставится обяза-

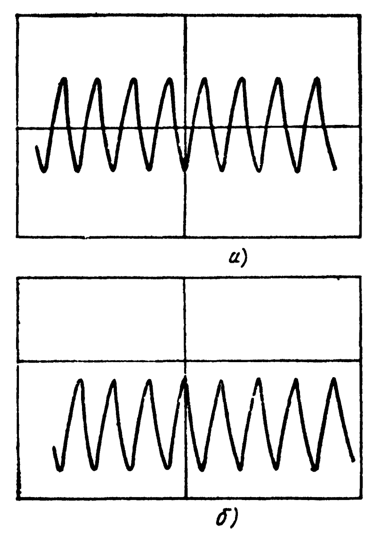


Рис. 2.5. Изображение строчного импульса на экране осциллографа с закрытым (*а*) и открытым (*б*) входами

тельно, но он включается и выключается переключением на «закрытый» и «открытый» вход.

В осциллографах с усилителями постоянного тока с большим коэффициентом усиления существует явление дрейфа — самопроизвольное смещение луча по вертикали. Для того чтобы скорость дрейфа была минимальной и не мешала измерениям, надо начинать работу после определенного времени прогрева осциллографа. Дрейф определяется в милливольтах или микровольтах в час и зависит от установленного коэффициента отклонения. Например, если коэффициент отклонения выбран 1 мВ/см, а дрейф равен 1 мВ/ч, то в течение любого часа работы (после прогрева) дрейф не должен быть больше 1 см. При большинстве измерений дрейф за час не имеет большого значения, так как на экране рассматривают изображение от одной до нескольких минут. Определение дрейфа очень важно в автоматических измерительных системах и высокочувствительных низкочастотных осциллографах, где смещение луча из-за дрейфа должно автоматически учитываться в результате измерений.

Уровень нулевого потенциала. Установка нулевого уровня при работе с открытым входом определяется однозначно. При закрытом входе надо отключить входной сигнал, замкнуть накоротко вход и поместить линию развертки на среднее деление горизонтальной шкалы — эта линия как раз и определяет линию нулевого потенциала.

На рис. 2.5,*а* показан строчный задающий импульс амплитудой 50 В на экране осциллографа при закрытом входе и коэффициенте отклонения 20 В/см. На рис. 2.5,*б* при тех же самых условиях, но при открытом входе можно видеть, что там же находится еще и постоянное (в данном случае отрицательное) напряжение —60 В. Таким образом, при открытом входе осциллограф одновременно измеряет в схеме и уровень постоянной составляющей и переменный сигнал. Однако при таких измерениях необходимо следить, чтобы суммарное напряжение, т. е. сумма положительного и амплитудного переменного напряжений не превышала допустимого входного напряжения осциллографа.

Бывают случаи, когда постоянная и переменные составляющие сигнала имеют разные порядки. Например, если исследуется усилительный каскад, в котором напряжение на коллекторе транзистора равно 5 В, а переменная составляющая сигнала имеет 50 мВ, то нужно изменить коэффициент отклонения и сместить линию развертки. Установив коэффициент отклонения осциллографа равным 2 В/см, можно обсчитать постоянное напряжение на коллекторе транзистора непосредственно по смещению линии развертки. Но измерить переменную составляющую сигнала в этом случае не удается, так как под ее действием луч будет смещаться всего на 0,5 мм. Чтобы рассмотреть такой сигнал, коэффициент отклонения нужно установить 0,1 В/см, но при этом постоянная составляющая сигнала отклонит луч далеко за пределы экрана.

Возвратить луч на экран можно двумя способами: или переключить осциллограф на закрытый вход, или сместить луч ручкой смещения по оси $Y(\updownarrow)$. Такое смещение в больших размерах возможно, например, в приборе С1-92, где пределы перемещения луча составляют ±100 мм относительно середины рабочей части экрана. В тех приборах, где смещение луча регулируется не в первом каскаде, а после предварительного усиления, может оказаться, что при возвращении луча на экран первый каскад окажется перегружен постоянной составляющей и внесет сильные амплитудные искажения или даже ограничит сигнал. В последних моделях осциллографов применяют специальные схемы, позволяющие получать большие смещения уровня без перегрузки первых каскадов усилителя для уверенного измерения малых флуктуаций при больших уровнях опорного напряжения (например, искажения в сети).

В особовысокочувствительных усилителях вертикального отклонения полоса пропускания может начинаться от определенной граничной частоты переменного тока; например, в сменном блоке Я40-1103 (1У-13) осциллографа С1-70 полоса начинается от 0,5 Гц при чувствительности 10 мкВ/см.

Усилители с несколькими входами. Для расширения функциональных возможностей осциллографов применяют усилители с несколькими входами. Это позволяет одновременно рассматривать и сравнивать различные формы сигналов, например, на входе и выходе усилительного устройства, в промежуточных каскадах и т. д. Особенно в этих случаях полезен дифференциальный усилитель.

Дифференциальный усилитель — это усилитель с двумя входами, на которые можно подавать сигналы с различной амплитудой, создающий на выходе один сигнал, пропорциональный разности этих амплитуд.

Одной из областей применения дифференциальных усилите-

лей является исследование сигнала, находящегося в области значительных помех; при этом на один вход подается сигнал с помехой, на второй — только помеха. В дифференциальном усилителе полезные сигналы будут усиливаться, а помехи — подавляться. Отношение сигнала к помехе (называемой в этом случае синфазной) может доходить до 2000. На рис. 4.3 показан пример, когда помехой являлся фон сетевого напряжения. В результате его подавления был получен чистый сигнал.

Если дифференциальный усилитель устойчив к перегрузкам, то появляется возможность исследования сигнала (в увеличенном масштабе) по частям: на один вход подается исследуемый сигнал с амплитудой, достаточной для отклонения луча на несколько диаметров ЭЛТ, а на второй — постоянное напряжение регулируемой величины. На экране трубки будет воспроизводиться только та часть сигнала, которая находится близко к уровню постоянного напряжения. Изменяя этот уровень смещения, можно с большой точностью исследовать небольшие изменения сигнала на небольших участках и таким образом увеличить точность амплитудных измерений.

Двухканальный коммутатор и двухлучевой осциллограф. Два одновременных или следующих друг за другом сигнала можно исследовать или осциллографом с двухканальным коммутатором, как в С1-92, или в сменном блоке Я4С-90, или двухлучевыми осциллографами с двухлучевой ЭЛТ типа С1-102, С1-103 или С1-115. Обе эти системы имеют свои достоинства и недостатки.

В осциллографе с коммутатором временные и амплитудные характеристики практически одинаковы, тогда как в двухлучевом осциллографе этого добиться трудно из-за разброса параметров отклоняющих систем двух лучей ЭЛТ. Современный коммутатор представляет собой интегральную схему частного применения и потребляет небольшую мощность. С коммутатором можно получить устойчивое изображение двух сигналов, не синхронных друг с другом; для этого вход синхронизации должен переключаться одновременно с наблюдаемыми сигналами.

Коммутатор осциллографа попеременно подключает оконечный усилитель к предварительному усилителю или одного, или другого канала. Возможны два режима переключения: либо во время обратного хода развертки (*синхронный* или *поочередный режим,* обозначаемый на органах управления → →), либо с постоянной частотой, задаваемой отдельным генератором (*несинхронный* или *прерывистый режим*, обозначаемый ....). Частота прерывистой коммутации каналов обычно принимается 50—100 кГц. Пример изображения на экране осциллографа при поочередном режиме приведен на рис. 2.6,*а*, при прерывистом — на рис. 2.6,*б*. Штрихом на рис. 2.6,*а* показан обратный ход развертки, который гасится. Прерывистость линии изображения на рис. 2.6,*б* дана условно, так как наблюдается не всегда. Ее можно

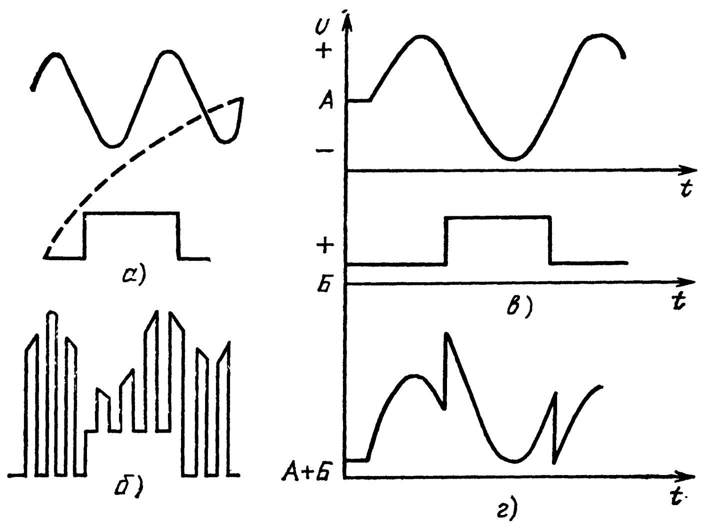


Рис. 2.6. Пример изображения сигнала, полученного с помощью электронного коммутатора:

а — поочередный (синхронный) режим переключения луча; *б* — прерывистый (несинхронный) — переключение луча с частотой 50 кГц; *в* — форма сигналов с некоторым сдвигом по фазовому углу на входах *А* и *Б*; *г* — суммарная их форма в режиме *А*+*Б*

заметить в том случае, когда период наблюдаемого процесса кратен частоте переключения. Если же, наоборот, период частоты переключения окажется близким к целому кратному периода входного сигнала, то возможно появление неприятных мельканий изображения или даже полное пропадание изображения одного из двух сигналов на некоторый промежуток времени.

Режим «Прерывисто» применяется при длительных развертках, где его недостатки не проявляются, а также при фоторегистрации однократных процессов, когда режим «Поочередно» вообще невозможно использовать. При этом минимальная длительность регистрируемого процесса составляет 25—50 периодов частоты переключения (0,5—1 мс при частоте переключения 50 кГц), что намного больше минимальной длительности регистрируемого процесса для двухлучевого осциллографа (несколько микросекунд).

В остальных случаях используют режим «Поочередно». Однако в этом режиме имеется недостаток: одновременно видимые на экране изображения сигналов на самом деле могут соответствовать неодновременным процессам в исследуемом устройстве. Например, если луч прочерчивает изображение сигнала в канале *А* в нечетные периоды развертки, то в канале *Б* — в четные. Это не приведет к ошибкам, когда период сигнала в каналах *А* и *Б* равен периоду развертки. Но если истинный

период сигналов на входах равен двум периодам развертки (в общем случае — четному числу периодов), то на экране увидим как бы совмещенными во времени первую половину сигнала *А* и вторую половину периода сигнала *Б*. Описанные ситуации могут встречаться при работе с телевизионными системами и могут привести к грубым ошибкам. Коммутаторы в режиме «Прерывисто» и двухлучевые осциллографы полностью свободны от этого недостатка.

Помимо различных режимов переключения каналов коммутаторы производят еще и алгебраическое суммирование (т. е. сложение и вычитание форм сигналов) (рис. 2.6,*в*). Хотя усилитель в режиме вычитания может выполнять функции, сходные с работой дифференциального усилителя, однако он его не может заменить, так как намного хуже подавляет синфазные помехи и менее устойчив к перегрузкам синфазным сигналом.

Двухлучевой осциллограф строят на ЭЛТ с двумя отдельными катодами, модуляторами и анодами. Системы отклоняющих пластин по вертикали — отдельные, по горизонтали — отдельные или общие. Двухлучевой осциллограф С1-74 позволяет наблюдать два несинхронных сигнала — при использовании задержанной развертки для отклонения по горизонтали одного луча и задерживающей — другого луча. Ранее изготавливались осциллографы с пятилучевыми ЭЛТ (С1-33), однако из-за высокой стоимости и низкой надежности их выпуск был прекращен.

2.3. КАНАЛ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ

Временной канал, ось *X* или канал горизонтального отклонения в общем виде состоят из генератора развертки, схем синхронизации (или запуска) и усилителя горизонтального отклонения.

В осциллографах обычно используют линейные развертки, в которых смещение луча по горизонтали, пропорциональное времени, осуществляется напряжением пилообразной формы. Небольшая доля длительности периода развертки (время, используемое для спадания напряжения до исходной величины и возвращения луча в исходное положение — обратный ход луча) вызывает выпадение части сигнала из изображения. Для устранения этого недостатка на время обратного хода луч обычно запирают, подавая на управляющий электрод или катод ЭЛТ запирающий импульс соответствующей полярности. Очень важно, чтобы напряжение развертки нарастало с высокой линейностью. Искажения сигнала, вызванные нелинейностью развертки, показаны на рис. 2.7.

Основными характеристиками развертки являются: коэффициент развертки, т. е. время, за которое электронный луч про-

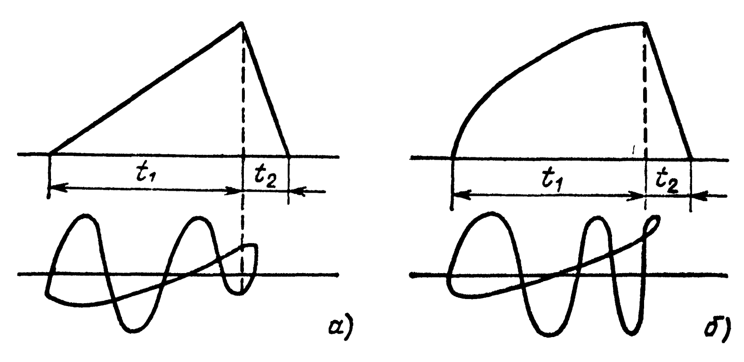


Рис. 2.7. Искажение синусоидального сигнала в результате нелинейности развертки:

а — развертка линейна; *б* — развертка нелинейна; t_1 — время прямого хода развертки; t_2 — время обратного хода развертки. Для определенной схемы развертки t_2 остается практически постоянным для любой частоты развертки

ходит одно деление шкалы ЭЛТ (или 1 см), нелинейность развертки, возможности синхронизации, характеристики запуска, длительность регулируемой задержки развертки, возможности увеличения скорости и др.

Коэффициенты развертки современного осциллографа изменяются в больших пределах: например, даже в осциллографе массового применения они меняются от 5 нс/дел до 50 мс/дел — в миллион раз. В запоминающих осциллографах коэффициент развертки доходит до 25 с/дел. Длительность развертки определяется временем прохождения светового пятна по длине рабочей части экрана слева направо и измеряется в наносекундах, микросекундах и секундах. Она обратно пропорциональна частоте развертки, т. е. если длительность выражена в наносекундах, то частота получается в гигагерцах, в микросекундах — в мегагерцах, в миллисекундах — в килогерцах и в секундах — в герцах.

Если напряжение развертки генерируется непрерывно и в отсутствие сигнала, то такую развертку называют *периодической* или *непрерывной*. Она широко применялась в осциллографах прежних выпусков и в любительских моделях. Однако периодическая развертка непригодна для исследования однократных процессов, а также для рассмотрения импульсов с большой скважностью, т. е. тех сигналов, длительность которых мала по отношению ко времени между двумя соседними импульсами. Например, необходимо рассмотреть импульс длительностью в 1 мкс со скважностью 1000. Это значит, что за 1 с на вход прибора поступит $10^6/10^3=1000$ импульсов. Частоту развертки примем равной частоте следования, т. е. 1 кГц. При этой длительности изображение импульса займет 1/1000 длины развертки, примерно десятую часть допустимого для данной трубки

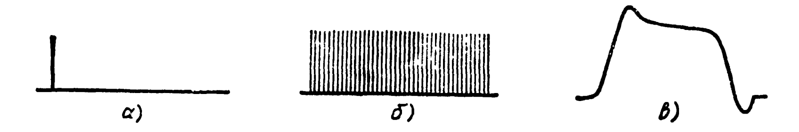


Рис. 2.8. Изображение импульса с большой скважностью при различных частотах непрерывной развертки и при ждущей развертке:

а, *б* — период развертки равен времени между импульсами и длительности импульса; *в* — форма импульса, представленного на рис. 2.8,*а*, при ждущей развертке

диаметра сфокусированного пятна (рис. 2.8,*а*), и импульса будет почти не видно. Если длительность развертки принять примерно равной длительности импульса, т. е. 0,1 мкс/см (частота развертки 1 МГц), то очертания импульса опять-таки будут почти неразличимы (рис. 2.8,*б*) из-за ухудшения синхронизации и резко будет видна лишь одна осевая линия.

Для исследования таких сигналов, а также непериодических процессов применяют ждущую развертку, т. е. такой режим работы генератора развертки, когда он генерирует один пилообразный импульс напряжения развертки только после прихода исследуемого импульса (или внешнего импульса запуска) и затем ждет следующего запуска. Генератор ждущей развертки может также работать и в автоматическом режиме, прочерчивая ось времени по экрану и в моменты отсутствия сигнала.

В ранее выпускаемых моделях для того, чтобы измерять длительность исследуемых процессов, предусматривались специальные устройства, калибрующие ось времени с помощью яркостных меток или остроконечных импульсов. Это вводило неудобства в процесс измерений, и теперь выходные напряжения генератора развертки линейны и стабильны в такой степени, которая позволяет определять длительность исследуемого процесса непосредственно по экрану ЭЛТ.

На рис. 2.9 приведена структурная схема генератора развертки осциллографа. Рассмотрим назначение ее основных узлов.

Узел синхронизации *1* преобразует входной сигнал в импульс запуска схемы управления генератором развертки, потому что для устойчивой работы генератора эти импульсы должны иметь постоянную амплитуду и длительность независимо от формы, амплитуды и длительности входного сигнала.

Осциллографы имеют внутреннюю и внешнюю синхронизацию гармоническими сигналами и импульсными сигналами любой полярности. Диапазоны частот и размеры изображения синхронизирующих сигналов на экране ЭЛТ оговариваются в описаниях приборов. Большинство универсальных осциллографов позволяет производить запуск развертки кадровым синхроимпульсом телевизионного сигнала.

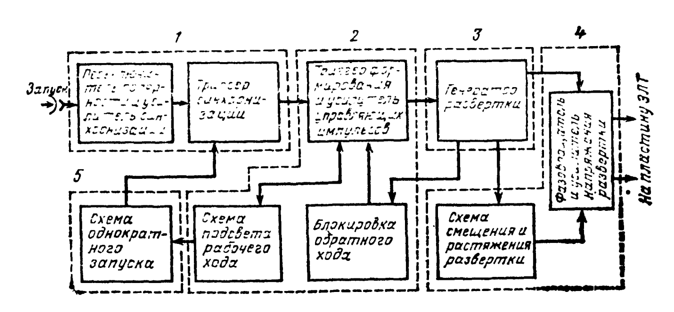


Рис. 2.9. Структурная схема генератора развертки универсального осциллографа

Узел управления генератором развертки *2* формирует импульс, длительность которого равняется длительности прямого хода развертки. Поскольку луч при своем возвращении в начальное положение никакой информации об исследуемом явлении не несет, то он блокируется.

Узел управления устанавливает режим работы генератора развертки: автоколебательный (периодический), режим с синхронизацией (ждущий) и однократный. В автоколебательном режиме развертка повторяется и при отсутствии синхронизирующих сигналов, в ждущем режиме при поступлении запускающих импульсов, в однократном — при поступлении сигнала после снятия блокировки нажатием кнопки.

Схема блокировки обратного хода луча срабатывает по достижении определенной амплитуды развертки и предотвращает возможность запуска развертки случайным импульсом, попавшим на вход во время обратного хода луча. Управляющие импульсы обычно формируются мультивибраторами или триггерами.

Схемы с триггерами легче сочетаются с новыми конструктивными возможностями схем интегрального исполнения, не имеют отдельных времязадающих цепей, с их помощью легче получать импульсы в широком диапазоне длительностей и они выполняются чаще всего по толстопленочной гибридной технологии.

Вместо гашения луча во время обратного хода сейчас применяют подсвет луча во время прямого хода импульсом, взятым с узла управления генератором развертки.

В качестве генераторов развертки *3* применяют специальные генераторы со стабилизацией тока заряда (разряда), интеграторы с емкостной обратной связью, имеющие высокую степень изменения линейности выходного напряжения. Достаточная линейность и стабильность позволяют определить длительность исследуемого процесса или по шкале экрана ЭЛТ, или

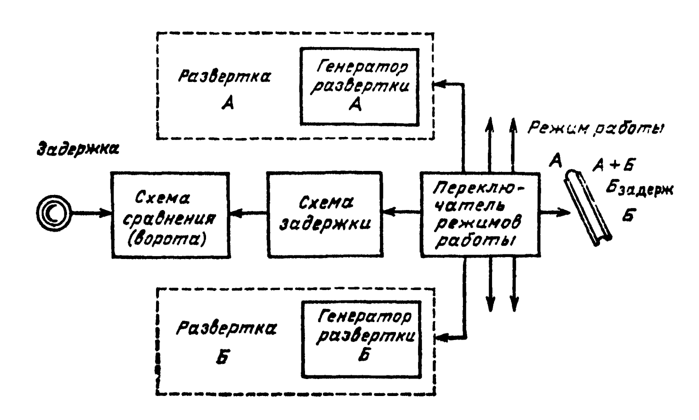


Рис. 2.10. Упрощенная структурная схема системы двойных разверток

в приборах, имеющих генераторы знаков — по выводимым на экран данным. После генератора развертки следует фазовращательный и усилительный каскад *4*.

В самых скоростных приборах (например, С7-19), имеющих скорости до 0,2 нс/см, применяют отдельные калибраторы только потому, что необходимое постоянство линейности нарастания скорости такой развертки обеспечить пока невозможно.

Схема однократного запуска *5* имеется в большинстве осциллографов. Схема синхронизации возвращает генератор в состояние готовности к последующему запуску не только нажатием кнопки, но и другими сигналами — через дистанционное управление — электрическими или световыми.

Существуют и более сложные схемы разверток и специальных аналоговых генераторов разверток: генераторы, создающие круговые, спиральные, растровые развертки, которые могут быть очень полезными при сравнении частот, фаз и др.

В цифровых осциллографах применяют специальные развертки, которые должны сочетать максимальный промежуток времени (окно информации), который нужно рассматривать, и в то же время устанавливать предельно минимальное приращение во времени, которое еще можно различить (временно́е разрешение).

В большинстве высококачественных осциллографов применяют системы двойных разверток.

Системы двойных разверток. Система двойной задержанной развертки позволяет получать большое растяжение во времени небольших участков сигнала (менее 1 % периода). Структурная схема такой развертки приведена на рис. 2.10. Эти развертки использованы в осциллографе С1-92, блоке Я4С-91 и др.

Как видно из схемы, такая система состоит из двух генера-

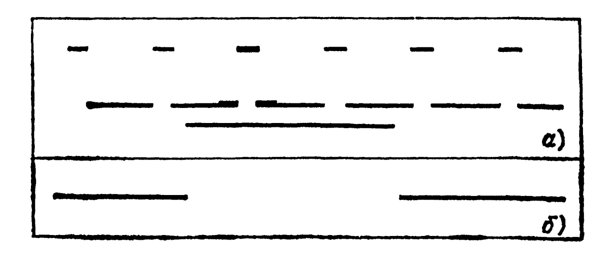
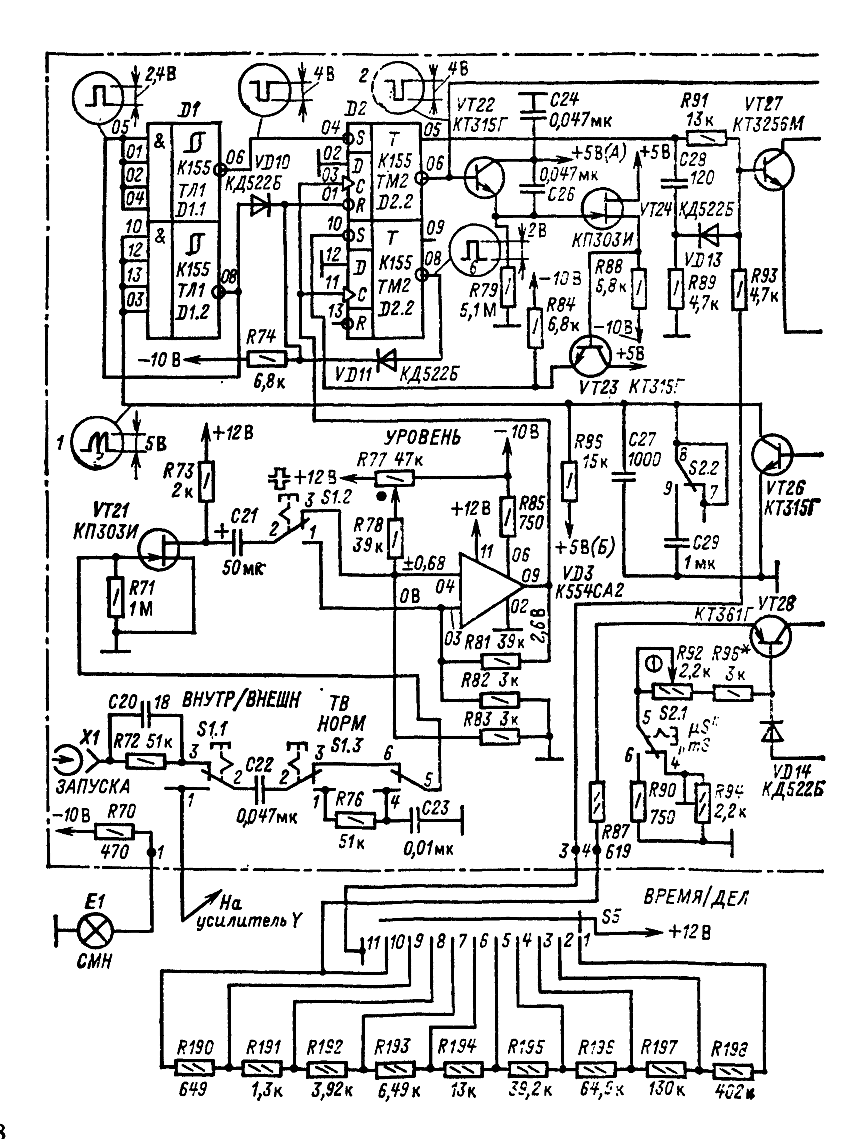


Рис. 2.11. Применение задержанной развертки для исследования сигнала сложной формы:
а — режим *А*+*Б*; *б* — режим $Б_{задерж}$, где показано изображение участка, отмеченного утолщенной линией

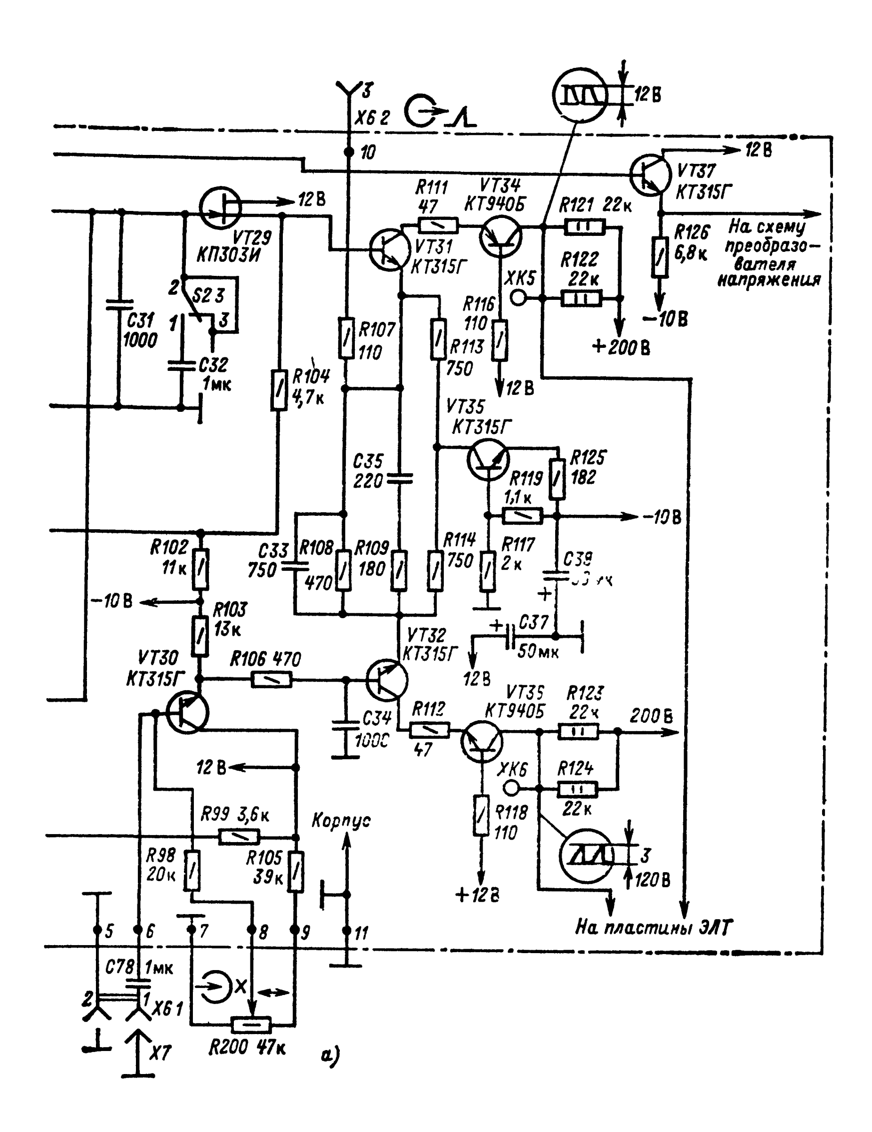
торов развертки, называемых *А* и *Б*, которые могут работать вместе или по одному. В каждой из разверток *А* и *Б* находятся блоки, обведенные штриховой линией на рис. 2.9. Задержка начала развертки относительно подачи запускающего импульса на время от 1 мкс до 0,5—1 с осуществляется при работе обоих генераторов. Генератором *Б* производится калиброванная во времени задержка, после которой генератор *А* осуществляет обычное развертывающее напряжение. При такой системе увеличивается точность измерения временны́х соотношений в сигнале. Наибольшее растяжение во времени сигнала происходит в режиме одновременной работы обеих разверток *А*+*Б*. Для этого на изображении полного сигнала на развертке *А* получают во времени яркостную отметку от развертки *Б* (рис. 2.11). Ручкой *Задержка* смещают яркостную метку так, чтобы высвечивалась интересующая часть сигнала (рис. 2.11,*а*), и уточняют переключателем *Время/дел* длительность развертки *Б*, чтобы эта часть высвечивалась полностью. Затем устанавливают переключатель режима работы задержки в положение $Б_{задерж}$, и на экране окажется только интересующее оператора изображение части сложного сигнала, которое можно подробно рассмотреть (рис. 2.11,*б*).

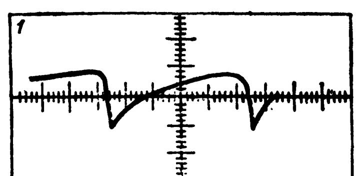
Усилитель горизонтального отклонения (по оси *X*). Оконечный усилитель *X* усиливает напряжение развертки перед подачей его на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ. Усиливаемые им сигналы имеют разную длительность, но одинаковую амплитуду. Главное требование к этому узлу — неискаженное воспроизведение прямого хода развертки, особенно начальных нарастающих участков на самых быстрых развертках. Полоса усилителя *X* чаще всего составляет 1/5 полосы усилителя *Y*, начинаясь, как правило, от постоянного тока, так как для передачи пилообразного сигнала достаточно передать меньше составляющих, чем для быстроизменяющегося прямоугольного

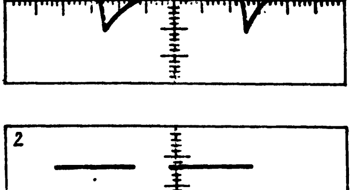
сигнала. В канале *X* размещается часть органов управления работой осциллографа: смещение *X*↔, множитель, или растяжка, меняющие коэффициент усиления, что позволяет увеличить напряжение развертки на фиксированную величину (×10 и более), давая возможность более подробно рассмотреть детали сигнала.



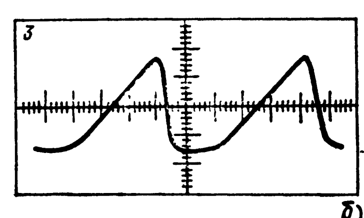
Канал X имеет внешний вход, на который могут быть поданы напряжения, играющие роль развертывающих при вычерчивании различных кривых — при фазовых и частотных измерениях по фигурам Лиссажу и др. При измерении сдвига фаз необходимо учитывать, что в канале вертикального отклонения имеется линия задержки, которая вносит дополнительное отста-

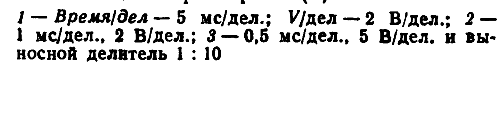






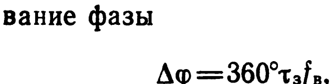





Рис. 2.12. Принципиальная схема развертки осциллографа «Сага» (*а*) и формы сигналов в цепях развертки (*б*):

1 — Время/дел — 5 мс/дел.; *V/дел* — 2 В/дел.; *2* — 1 мс/дел., 2 В/дел.; *3* — 0,5 мс/дел., 5 В/дел. и выносной делитель 1 : 10

вание фазы



$$\Delta\varphi = 360°\tau_з f_в,$$

где $\tau_з$ — задержка; $f_в$ — частота входного сигнала.

Практическая схема генератора развертки осциллографа широкого применения «Сага». Как указывалось ранее, канал горизонтального отклонения (КГО) обеспечивает линейное отклонение луча ЭЛТ по горизонтали синхронно с исследуемым сигналом. Канал горизонтального отклонения осциллографа «Сага» (рис. 2.12) включает в себя схемы синхронизации и запуска, генератор развертки, схему блокировки и усилитель развертки.

Схема синхронизации вырабатывает сигнал для управления схемой запуска и генератором развертки синхронно с исследуемым сигналом и состоит из входного истокового повторителя *VT21*, компаратора *VD3* и триггера синхронизации (микросхема *D1.1*). В приборе предусмотрена возможность синхронизации развертки внутренним или внешним сигналом (кнопка Внутр/Внешн). В режиме внутренней синхронизации сигнал снимается с выхода предусилителя *VT6*. В режиме внешней синхронизации сигнал подается на гнездо *Запуска.*

В приборе предусмотрена возможность подачи синхронизирующего сигнала кадровой развертки через интегрирующую цепочку *R76, C23*, в положении *ТБ* кнопки *ТВ/норм.*

С выхода истокового повторителя *VT21* через переключатель *Полярности* синхронизирующий сигнал поступает на вход компаратора *VD3*.

Изменение значения синхросигнала производится изменением сигнала на входе компаратора *VD3* (резистор *R77 Уровень*).

С выхода компаратора *VD3* прямоугольные импульсы поступают на нулевой вход триггера запуска *D2*, который совместно с генератором развертки и схемой блокировки формирует пилообразное напряжение.

В исходном состоянии на прямом выходе триггера запуска (микросхема *D2.1*) устанавливается логическая единица («1»). Это напряжение через резистор *R91* удерживает в насыщенном состоянии транзистор *VT27*; времязадающий конденсатор *C31* разряжен. На входе микросхемы *D2.1* имеется «0», поэтому с приходом импульса синхронизации на нулевой вход триггер запуска опрокидывается. Транзистор *VT27* запирается, начинается заряд времязадающего конденсатора *C31* током транзистора *VT28*. Формируется прямой ход пилообразного напряжения. Пилообразное напряжение поступает на вход усилителя развертки, выполненного на полевом транзисторе *VT29* и транзисторах *VT31*, *VT32*, *VT34—VT36*. С коллекторов транзисторов *VT34* и *VT36* пилообразное напряжение подается на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ. Часть пилообразного напряжения с делителя *R102*, *R104* подается на вход схемы блокировки.

Схема блокировки представляет собой ждущий мультивибратор на транзисторе *VT26* и микросхеме *D1.2*. При достижении определенного уровня пилообразного напряжения транзистор *VT26* открывается и запускает мультивибратор. Импульс с выхода микросхемы *D1.2* через инвертор на микросхеме *D1.1* поступает на вход 04 триггера запуска и опрокидывает его в исходное состояние. Транзистор *VT27* открывается, времязадающий конденсатор *C31* разряжается до исходного уровня, формируется обратный ход пилообразного напряжения. На время длительности импульса блокировки триггер запуска не чувствителен к импульсам синхронизации, так как на его входе *S* установлен «0».

Описанный выше режим запуска генератора развертки сигналами синхронизации происходит при «1» на выходе *08* микросхемы *D2.2*, когда диод *VD10* заперт. При «0» на выходе *08* микросхемы *D2.2* диод *VD10* открыт и на вход *R* триггера запуска поступают импульсы схемы блокировки с выхода микросхемы *D1.2*. Срезом импульса блокировки опрокидывается триггер запуска, генератор развертки работает в автоколебательном режиме.

Переключение такого режима в ждущий происходит автоматически при срабатывании триггера синхронизации. Для этого в схему введен триггер на микросхеме *D2.2*. На входе его установлен «0», поэтому при поступлении импульса синхронизации на вход 0 триггера на его выходе *08* устанавливается «1», генератор развертки работает в ждущем режиме.

На рис. 2.12,*б* показаны осциллограммы отдельных сигналов в цепях развертки.

2.4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Калибраторы амплитуды и времени. Это устройства, позволяющие значительно повысить точность амплитудных и временных измерений. В предыдущих моделях для калибровки временных параметров применяли специальные генераторы меток. В современных простых моделях С1-112, С1-94, «Сага» и других это транзисторный усилитель в режиме ограничения, запускающийся синусоидальным сигналом с частотой сети питания, снимаемым со вторичной обмотки сетевого трансформатора (рис. 2.13). С коллектора транзистора прямоугольные импульсы (меандр) с частотой сети и амплитудой порядка 10 В подаются на вход усилителя при положении переключателя чувствительности ▼ (калибровка). При этом чувствительность прибора устанавливается 2 В/дел., а калиброванные импульсы должны соответствовать пяти делениям вертикальной шкалы прибора. Калибровка коэффициента развертки возможна в положении 0,5; 1; 2 переключателя *время/дел*, а переключатель *mS/µS* устанавливается в положение *mS*.

Для универсальных осциллографов со сменными блоками выпускается специальный блок калибратора (типа 2К11, поз. *1* на рис. 1.2), который в зависимости от канала, который необходимо откалибровать, вставляется или вместо блока усилителя, или вместо блока развертки. Такой калибратор генерирует импульсы для проверки переходной характеристики базового блока, калибрационные напряжения для проверки коэффициентов отклонения выходных усилителей *X* и *Y*, специальные кодированные последовательности импульсов для проверки генератора знаков и т. д. Сложность таких блоков вызвана была необходимостью повышения точности измерений универсальных приборов со сменными блоками, при смене блоков и при эксплуатации с течением времени. О калибраторах скоростных осциллографов упоминалось ранее.

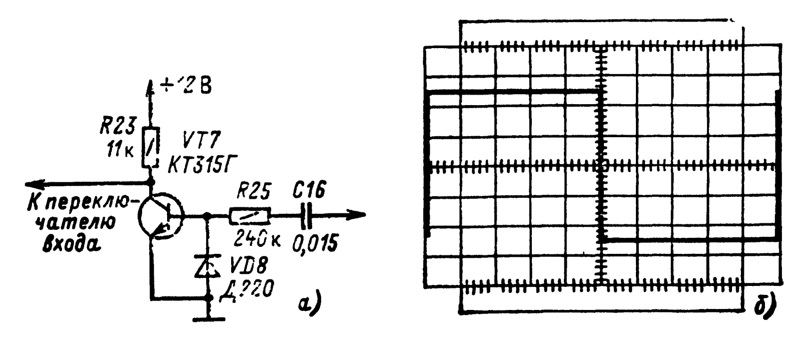
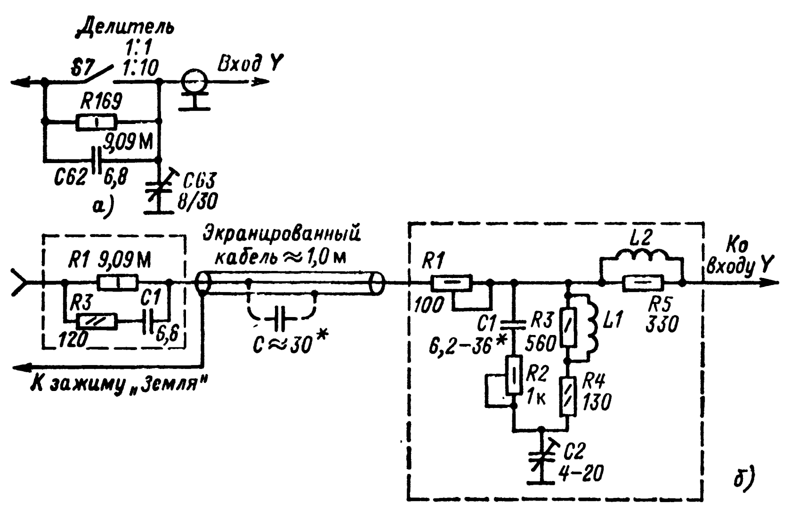


Рис. 2.13. Схема калибратора осциллографа С1-94 (*а*) и калибровка амплитуды и длительности по экрану ЭЛТ (*б*) (без линии задержки, как в устройстве «Сага»)



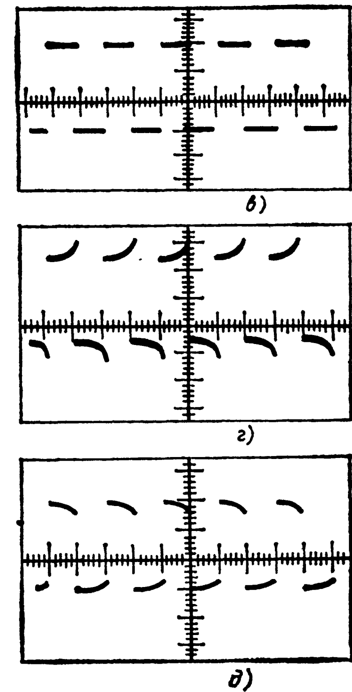


Рис. 2.14. Схемы выносных делителей:

а — делитель 1 : 10 осциллографа «Сага»; *б* — делитель 1 : 10 широкополосного осциллографа С1-92; осциллограммы компенсации делителя; *в* — нормальная компенсация; *г* — перекомпенсация; *д* — недокомпенсация

Пробники. Пассивные выносные делители. Осциллограф в определенной степени всегда нагружает исследуемую схему, поэтому встречаются случаи, когда исследуемый сигнал нельзя непосредственно подать на вход осциллографа. Это может быть не только в том случае, когда амплитуда сигнала превышает пределы допустимого. Для уменьшения влияния нагрузки можно применить пассивные выносные делители, позволяющие повысить входное сопротивление осциллографа, а значит, и меньше нагрузить источник сигнала (рис. 2.14,*а*). При этом уменьшение активной нагрузки будет пропорционально коэффициенту деления пробника (для делителя 1 : 10 — в десять раз), однако емкостная нагрузка уменьшается в меньшей степени в зависимости от частоты сигнала. Емкостную нагрузку типичный делитель-пробник уменьшает всего в 4—5 раз и улучшить это отношение трудно, так как через наконечник пробника в схему вводятся дополнительные паразитные емкости. На рис. 2.14,*б* приведена схема выносного широкополосного делителя 1 : 10 осциллографа С1-92, уменьшающего емкостную и резистивную нагрузки и общую чувствительность, что дает возможность измерять большие напряжения (до 500 В), пользуясь только входным аттенюатором усилителя. Верхнее плечо этого делителя образуется резистором *R1* и конденсатором *C1*, нижнее — входным сопротивлением и входной емкостью осциллографа. Между верхним и нижним плечами включен кабель с определенной распределенной емкостью от 100 до 30 пФ. Вмонтированные в корпусе резисторы, катушки индуктивности *L1* и подборный конденсатор *C2* подавляют «звон» и помехи кабеля на высоких частотах. Для обеспечения нужной точности измерений осуществляется компенсация выносного делителя 1 : 10 и калибровка коэффициентов отклонения с ним. Соединив пробник с выходом калибратора, подстройкой конденсатора *C2* необходимо добиваться изображения прямоугольного сигнала, как на рис. 2.14,*в*.

Высоковольтный емкостный делитель. Его применяют для измерения больших напряжений (свыше 500 В), например, в цепях разверток телевизора. Как показано на рис. 2.15, такой пробник имеет два конденсатора: *C1* — высоковольтный малой емкости; *C2* — большой емкости, но с малым рабочим напряжением. Включенные последовательно, они действуют как делитель напряжения, причем основная часть напряжения падает на *C1*. Форму сигнала, возникающего на *C2*, можно рассмотреть на осциллографе, так как напряжение сигнала по отношению к «земле» не превышает допустимого для входных цепей осциллографа. Конденсатор *C2* полупеременный, что позволяет подстраивать точность коэффициента деления, который в таких высоковольтных делителях чаще всего устанавливается 1 : 100, что упрощает расчет напряжения.

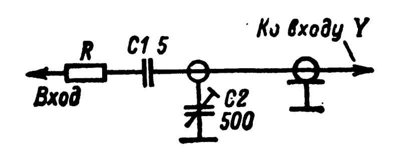



Рис. 2.15. Высоковольтный емкостный делитель

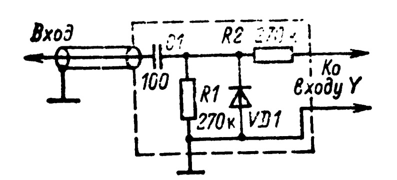


Рис. 2.16. Пробник-детектор

Активные пробники. Их применяют в условиях, когда внешние наводки становятся соизмеримы с исследуемым сигналом. Активные пробники имеют высокое входное сопротивление (более 1 МОм), малую входную емкость (менее 10 пФ) и тщательную экранировку для предотвращения электромагнитной внешней наводки. Применение активного пробника позволяет исследовать сигналы с амплитудами от 10 мВ до 1 В. Такой пробник выполняют по схеме катодного повторителя, нагрузкой которого служит коаксиальный кабель. В схему входят также фильтры для сглаживания высокочастотных и низкочастотных пульсаций и цепи компенсации. Иногда очень полезным оказывается пробник-детектор. Его можно применять для наблюдения телевизионных, радиосигналов или сигналов промежуточной частоты. Использование такого пробника позволяет наблюдать с довольно высокой точностью форму огибающей высокочастотных сигналов. Пробник должен иметь минимальную входную емкость (во избежание расстройки контура) и демодулятор для преобразования высокочастотного сигнала, а также короткие выводы для подключения к цепи.

Входной разделительный конденсатор *C1* (рис. 2.16) и выходной развязывающий резистор *R2* используются для того, чтобы как можно меньше влиять на исследуемую цепь. Проверка формы огибающей радиосигналов с таким пробником может производиться в любой цепи радио или промежуточной частоты при подаче на вход сигнала соответствующей частоты (ГСС или другого генератора).

2.5. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

В зависимости от назначения осциллографа в нем применяют блок питания различной сложности исходя из требований и стабильности питающих напряжений. Нестабильность сетевого напряжения вызывает смещение луча по экрану (дрожание развертки), изменение чувствительности осциллографа, ухудшение синхронизации и дефокусировку.

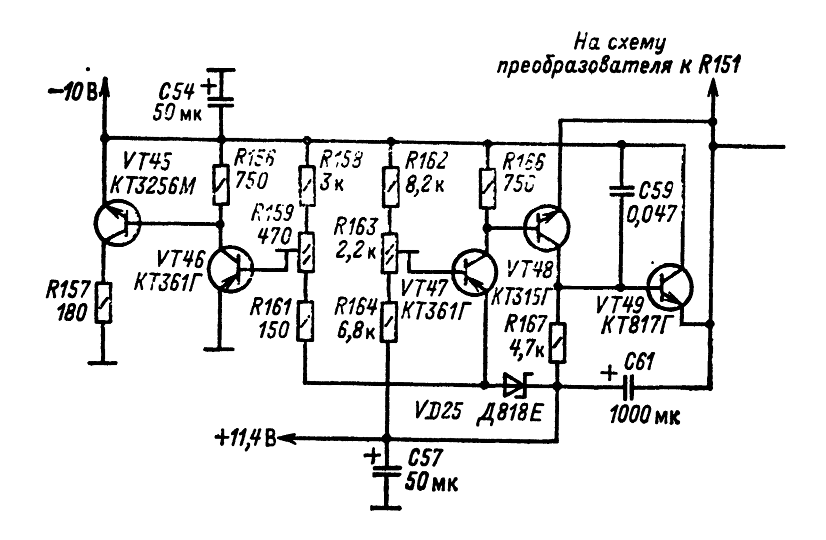
Блок питания современного осциллографа представляет собой весьма сложное устройство, состоящее из низковольтного источника питания, предназначенного для питания схем прибо-

ра, и высоковольтного преобразователя, обеспечивающего напряжения питания ЭЛТ. Для нормальной работы осциллографа «Сага» все источники питания должны иметь малую пульсацию и обеспечивать стабильные напряжения при изменении напряжения сети питания ±10 %.

Низковольтный источник питания (рис. 2.17,*а*) обеспечивает следующие значения питающих напряжений: 240 В, ток нагрузки 20 мА; 120 В, ток нагрузки 50 мА; 11,4 В, ток нагрузки 150 мА; —10 В, ток нагрузки 150 мА.

Учитывая одинаковые значения токов нагрузки источников напряжения 11,4 В и —10 В, их получают от одного источника напряжения с электронным стабилизатором. Стабилизатор напряжений 11,4 В и —10 В выполнен по типовой схеме и представляет собой трехкаскадный усилитель на транзисторах *VT47—VT49*. Напряжение на вход стабилизатора снимается со вторичной обмотки трансформатора *Т2* через двухтактный выпрямитель *VD24* и конденсатор *С61*. Подстройка стабилизированного напряжения —10 В производится резистором *R163*, выведенным под шлиц внутри прибора. Стабилизированное напряжение 11,4 В снимается с эмиттерного повторителя *VT46*, на базу которого подается напряжение от резистора *R159*. Стабилизированное напряжение —10 В снимается с эмиттера транзистора *VT45*.

Напряжения источников 120 и 240 В нестабилизированы и снимаются со вторичной обмотки силового трансформатора *Т2* через схему удвоения *VD4* и конденсаторы *С13*, *С16*.



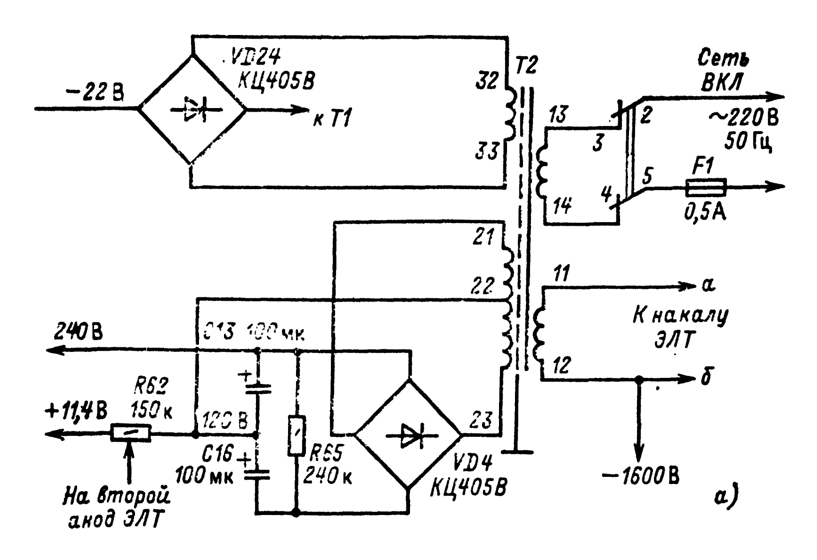
В приборе использована ЭЛТ типа 8ЛО7И.

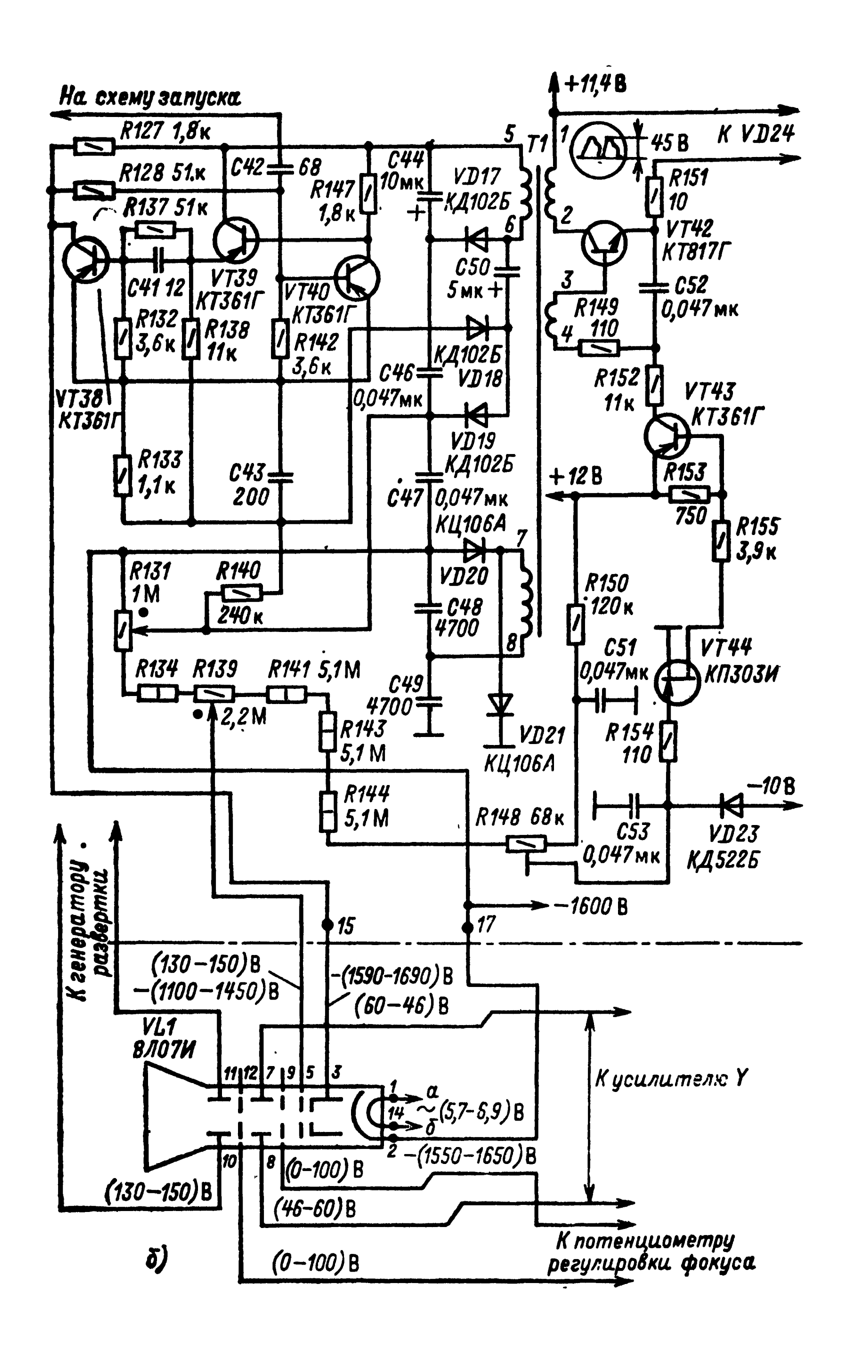
Напряжения для питания ЭЛТ снимаются со схемы электронного преобразователя (рис. 2.17,*б*), выполненного на транзисторах *VT42* и *VT43* и трансформаторе *T1* по схеме самовозбуждающегося генератора с индуктивной обратной связью. Напряжение питания катода ЭЛТ минус 1600 В снимается со вторичной обмотки *T1* через схему удвоения (диоды *VD20*, *VD21*, конденсаторы *C48*, *C49*). Напряжение питания модулятора ЭЛТ снимается с другой вторичной обмотки трансформатора *T1* через схему умножения (диоды *VD17*—*VD19*, конденсаторы *C44*, *C46*, *C47*, *C50*).

Стабилизация выходных напряжений преобразователя осуществляется двухкаскадным усилителем на транзисторах *VT43* и *VT44*. Выходное напряжение схемы стабилизации с коллектора транзистора *VT43* управляется базовой цепью транзистора *VT42* преобразователя, обеспечивая стабильность выходных напряжений. На рис. 2.17,*в* приведена специфичная форма напряжения в точке *1* схемы преобразователя.

Питание канала ЭЛТ осуществляется от отдельной обмотки трансформатора *T2*. Напряжение питания первого анода (фокусировка) снимается с резистора *R139*. Регулирование яркости луча ЭЛТ производится резистором *R131*. Эти резисторы выведены на лицевую панель прибора и имеют специальное обозначение.

Напряжение питания второго анода ЭЛТ снимается с резистора *R62*, выведенного под шлиц внутри прибора.





На схему запуска
R127 1,8к
R128 51.к
R137 51к
C42 68
R147 1,8к
C44 10мк
VD17 КД102Б
T1
+11,4В
45 В
К VD24
R151 10
VT42 КТ817Г
C41 12
VT39 КТ361Г
VT40 КТ361Г
C50 5мк
C52 0,047мк
R132 3,6к
R138 11к
R142 3,6к
R149 110
КД102Б VD18
C46
0,047мк
R152 11к
VT43 КТ361Г
VT38 КТ361Г
VD19 КД102Б
R133 1,1к
C43 200
C47 0,047мк
+12 В
R153 750
КЦ106А
R155 3,9к
R131 1М
R140 240к
VD20
C48 4700
R150 120к
C51 0,047мк
VT44 КП303И
R134 R139 R141 5,1М
2,2М
C49 4700
R143 5,1М
R154 110
VD21 КЦ106А
R144 5,1М
−10В
R148 68к
C53 0,047мк
VD23 КД522Б
К генератору развертки
−1600 В
15
17
(130−150) В
−(1100−1450) В
−(1590-1690) В
(60−46) В
VL1 8ЛО7И
К усилителю Y
а
~(5,7-6,9) В
б
−(1550−1650) В
(0-100) В
(130−150) В
(46-60) В
К потенциометру регулировки фокуса
(0−100) В
б)

Рис. 2.17. Схема источников питания осциллографов «Сага»:

а — схема низковольтного источника питания; *б* — схема питания ЭЛТ; *в* — осциллограмма сигнала преобразователя «Сага» в точке *1*; *Время/дел* — 2 мкс; *V/дел* — 2 В; делитель 1 : 10

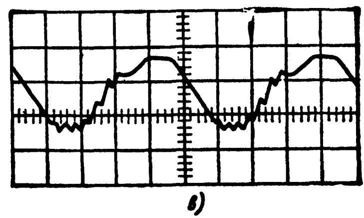


Схема подсвета луча (рис. 2.17,*б*) выполнена на транзисторах *VT38—VT40* и представляет собой симметричный триггер, который питается от отдельного источника 30 В, относительно источника питания катода минус 1600 В. Исходное состояние: *VT40* — открыт, *VT38* — закрыт. Положительный перепад импульса запуска приходит с эмиттера *VT37* схемы запуска через конденсатор *С42* и переводит триггер подсвета в закрытое состояние, отрицательный возвращает в исходное. В результате на коллекторе *VT38* формируется положительный импульс амплитудой порядка 17 В, по длительности равный длительности прямого хода развертки, который подается на модулятор ЭЛТ и подсвечивает прямой ход развертки. Схемы источников питания универсальных осциллографов значительно сложнее. В них применяются специальные схемы защиты, высоковольтные преобразователи.

Для предохранения ЭЛТ иногда применяют схемы задержки подачи высоких напряжений на электроды ЭЛТ на время прогрева катода. Для этого используется двоично-десятичный счетчик импульсов с частотой 50 Гц и постоянные времени цепей, создающие в результате суммарное время задержки включения 2—3 мин.

Глава 3

РАБОТА С ОСЦИЛЛОГРАФОМ

3.1. ВЫБОР ОСЦИЛЛОГРАФА

В настоящее время существуют две тенденции конструктивного выполнения универсальных осциллографов: в виде моноблока и в виде базы со сменными блоками. В тех случаях, когда необходимые измерения сравнительно однотипны и их желательно производить при минимальном числе регулировок (например, при настройке приборов в цеховых условиях), то оптимальным будет применение моноблочных осциллографов: С1-94, С1-112 — при несложных сервисных операциях; С1-65А с поло-

сой 50 МГц, С1-101, С1-107, С1-92 — для более широкополосных измерений. Эти приборы сравнительно малогабаритны и более просты в эксплуатации. Но для работы в лабораториях более подходят универсальные осциллографы со сменными блоками типов С1-70 и С1-91, ранее выпускавшиеся, и С1-122 и С1-115, изготавливающиеся сейчас. Такие приборы дают возможность проводить самые различные виды измерений.

При выборе осциллографа необходимо учитывать следующие важнейшие характеристики.

Полоса и время нарастания осциллографа. Об этих характеристиках упоминалось ранее. Надо иметь в виду, что при высокой чувствительности (200 мкВ/см и выше) и широкой полосе пропускания сильно растет уровень шумов, затрудняющий изучение слабых сигналов.

Для лучшего воспроизведения импульсных сигналов частотная характеристика осциллографа должна иметь вид, показанный на рис. 2.4,*а*, с плавным спадом на верхних частотах.

На рис. 3.1 приведена номограмма зависимости увеличения погрешности измерения (%) от отношения времени нарастания исследуемого сигнала и осциллографа. Если время нарастания осциллографа составит не больше 1/5 времени нарастания рассматриваемого сигнала, то погрешность измерений будет не более 2 %, при определенной стандартами полосе пропускания (3 дБ) погрешность измерения увеличивается до 3 %, и далее на половине полосы частот — до 8 %.

Коэффициент отклонения. При работе с сигналами более 30 В необходимо использовать выносные делители. Особенно чувствительны к перегрузке туннельные диоды в преобразователях стробоскопических осциллографов. Блоки Я4С-96 или Я4С-100 выходят из строя при подаче на вход напряжения свыше 1 В. Верхний предел исследуемого напряжения зависит от пробивного напряжения переходной емкости при закрытом входе и допустимого напряжения на входе усилителя (суммарного: постоянного и переменной составляющей) при открытом входе. При применении пробника 1 : 10 допустимое входное напряжение возрастает до 300 В, и такой сигнал можно рассматривать на большинстве приборов.

При исследовании сигналов малой амплитуды осциллограф выбирают по минимальному коэффициенту отклонения (максимальной чувствительности), наименьшему размеру изображения на экране ЭЛТ, для которого еще гарантируется допустимая погрешность измерения. Но чем больше полоса, тем меньше должно быть значение входной емкости. Это условие очень трудно выполнить практически. При измерениях на самых высших частотах надо применять активные пробники, обеспечивающие наименьшее значение входной емкости.

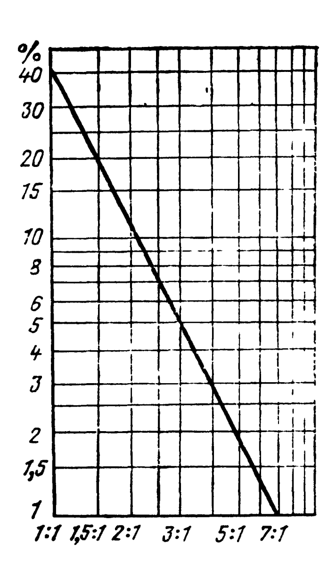


Рис. 3.1. Зависимость погрешности измерения от отношения времен нарастания исследуемого сигнала и осциллографа

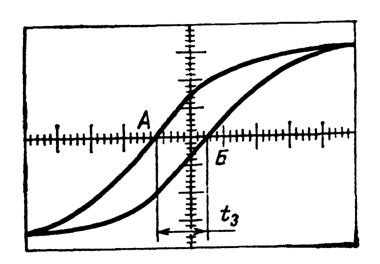


Рис. 3.2. Измерение задержки между двумя входными сигналами *А* и *Б*, где $t_з$ — время задержки

Сменный блок Я4С-97 имеет выносной высоковольтный делитель 1 : 100, что в результате позволяет измерять напряжения от 20 мВ до 20 кВ с отображением результатов измерений на экране базового осциллографа.

В обычных условиях запускается осциллограф сигналом, изображение которого занимает на экране ЭЛТ половину деления шкалы — чаще всего 5 мм (в малогабаритных приборах — 3 мм). Если прибор запускается слабым сигналом или схема запуска плохо работает, то удержать стабильность запуска очень трудно. Он может производиться случайными сигналами, что вызывает дрожание и общую размытость изображения. В этом случае нужно использовать внешнюю синхронизацию.

Скорость развертки. При выборе осциллографа следует учитывать соотношение между ценой деления самой быстрой развертки и временем установления канала вертикального отклонения $\tau_у$. Обычно цена деления самой быстрой развертки близка к $3\tau_у$. Например, для осциллографа с полосой пропускания 5 МГц, имеющего время нарастания 35 нс, максимальная скорость развертки обычно равна 0,2 мкс/см, при полосе 20 МГц — 0,05 мкс/см, при полосе 200 МГц — 5 нс/см и т. д. Такое соотношение выбирается потому, что при большей скорости канал вертикального отклонения все равно не позволит рассмотреть более мелкие детали сигнала, а при меньшей скорости возможности канала вертикального отклонения нельзя полностью использовать.

В современных приборах широко используют возможность «растяжки» развертки — увеличение ее скорости в 10 раз, а в отдельных приборах — в 50 раз. Это бывает полезно при рассмотрении небольших участков сигнала (см. рис. 3.7) или при измерении задержки между двумя идентичными сигналами, что часто встречается в вычислительной технике. В этом случае благодаря идентичности двух входных сигналов, поданных на оба входа, и двухканальному коммутатору получают два идентичных изображения сигналов, но сдвинутых вдоль оси времени на величину задержки между ними. Задержку можно отсчитать довольно точно, даже если она меньше времени установления осциллографа в 2—3 раза, для чего и нужна повышенная скорость развертки (рис. 3.2).

Из серийно выпускаемых нашей промышленностью осциллографов самые быстрые перепады напряжений и однократные короткие импульсы длительностью вплоть до 5,4 пс/линию могут регистрироваться осциллографом С7-19, самые медленные — до 25 с/дел. запоминающим осциллографом С8-17 и цифровыми запоминающими осциллографами.

Погрешности определения длительности процессов у большинства простых осциллографов составляют 3—5%, но в универсальных приборах типа С1-122 с блоком измерения Я4С-105 они могут составлять ± 1 %. Следует повторить, что если время нарастания исследуемого сигнала по крайней мере в 5 раз превышает время нарастания усилителя вертикального отклонения, то точность временно́го интервала будет определяться практически только точностью временно́й развертки осциллографа.

3.2. ВКЛЮЧЕНИЕ ПРИБОРА И ПОДГОТОВКА ЕГО К РАБОТЕ

На рис. 3.3 показаны лицевые панели простых осциллографов, объединенных во многом общими конструктивными решениями. Независимо от типа прибора существует некоторая общая методика включения осциллографа и подготовки его к работе. Она заключается в следующем: проверить соответствие положения переключателя сети. Оно должно соответствовать имеющемуся напряжению (приборы обычно поставляются включенными на 220 В). Если в приборе установлен вентилятор, нужно проверить чистоту сеток фильтра.

Для уменьшения наводок все соединения осциллографа с источниками исследуемых напряжений следует производить специальными кабелями, придаваемыми к приборам, поэтому всегда следует использовать пробник 1 : 1 при небольших сигналах и особенное внимание уделять точке его заземления как можно ближе к месту измерения.

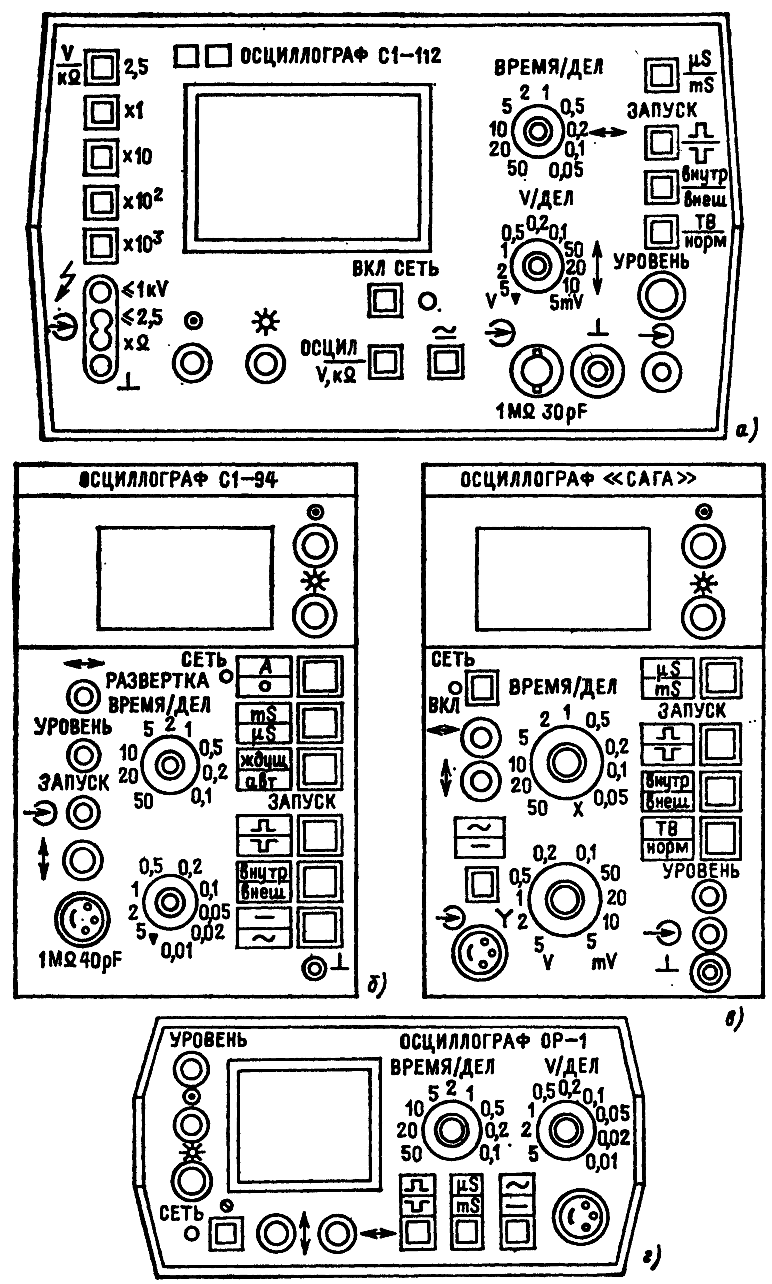


Рис. 3.3. Органы управления малогабаритных универсальных осциллографов:

а — С1-112; *б* — С1-94; *в* — «Сага», *г* — ОР-1

Перед началом работы ручки осциллографов, регулирующие яркость, амплитуду синхронизации УРОВЕНЬ ставят на минимум в крайнее левое положение, фокусировку и смещение по вертикали ↕ и горизонтали ↔ — в среднее положение, а поскольку органы управления приборов на рис. 3.3 почти однотипны, то надо нажать кнопку внутренней синхронизации ВНУТР, поставить переключатель длительности развертки *Время/дел* в положение *2*, а переключатель чувствительности вертикального отклонения *V/дел* в положение *1* и включить осциллограф. В старых моделях прибор включался регулятором яркости, совмещенным с выключателем сети (и это было правильно, нельзя было сжечь трубку). Если же теперь не обращать внимания на ручку, то яркость может быть довольно значительной. Через 2—3 мин на экране ЭЛТ появится светлая линия. Отсутствие ее может объясняться недостаточной яркостью (ручку надо вывести из крайнего левого положения) или слишком большим отклонением луча за пределы экрана ЭЛТ. Тут надо устанавливать ручки ↕ и ↔ в различные положения, пока луч не появится на экране ЭЛТ. Поскольку смещение осуществляется благодаря изменению потенциала между управляющими пластинами, то во многих приборах, в том числе и С1-92, имеется кнопка *Поиск луча*; при нажатии этой кнопки происходит стабилизация потенциалов пластин и луч оказывается в центре шкалы. Но в более простых приборах действием ручек смещения луча возвращают его на экран.

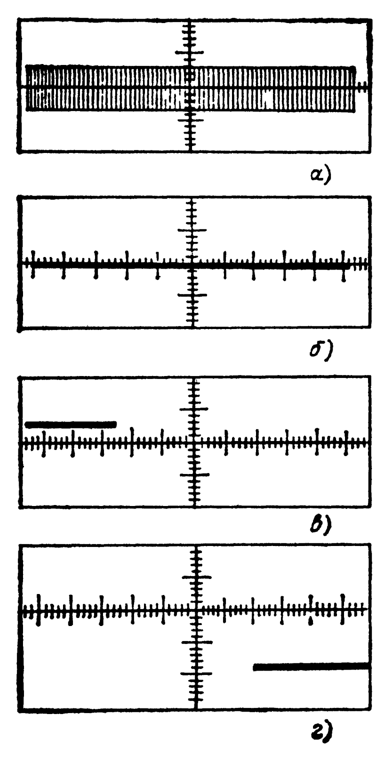
На рис. 3,4,*а*, *б* показаны возможные установки ручки ФОКУС при небрежной работе и при необходимости установки четкой линии 0,6—1 мм, одинаковой по всей длине развертки. Ручка ↔ должна обеспечивать перемещение луча по горизонтали, позволяющее совместить начало и конец рабочей части развертки с центром экрана ЭЛТ.

В двухлучевых осциллографах, например в С8-13, рабочая часть экрана ЭЛТ 13ЛН11 разделяется на две половины (40×80 мм для рабочей части луча).

Показанные на рис. 3.3 внутренние ручки переключателей *Время/дел и V/дел* позволяют плавно изменять величины, установленные на шкалах переключателей до 2,5 раз. Таким образом, при необходимости более детального изучения небольших участков сигнала (рис. 3,5,*а*) можно увеличить сигнал до размеров, превышающих размеры экрана, а затем ручкой ↕ вернуть на экран участок, который хотят рассмотреть подробней (рис. 3.5,*б*). Однако при этом надо следить за отсутствием перегрузки входного каскада, что может внести большие искажения. В каждом осциллографе установлены пределы напряжений, подаваемых на вход, и их нельзя превышать.

Рис. 3.4. Управление лучом ЭЛТ:

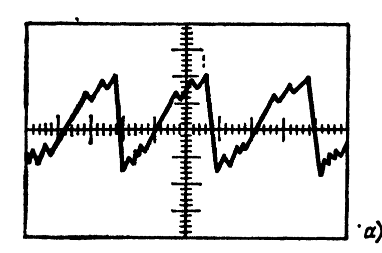
а — луч не в фокусе; *б* — луч сфокусирован; *в* — луч смещен влево и вверх; *г* — луч смещен вправо и вниз



Увеличение отдельных участков сигналов возможно и в горизонтальном направлении. В этом случае скорость развертки выбирается больше длительности периода рассматриваемого сигнала, что как бы растягивает сигнал (см. рис. 3.7).

В осциллографах с усилителями постоянного тока (а таких сейчас подавляющее большинство) полоса частот начинается от 0 Гц, а следовательно, в этих условиях большое значение на стабильность работы оказывают и колебания сети, и случайные помехи, и другие явления, которые вызывают нестабильность положения нулевой линии — линии развертки на нулевом потенциале экрана ЭЛТ, называемую *дрейф*. Поскольку дрейф луча сказывается на точности измерений, то перед подачей сигнала усилитель необходимо сбалансировать, т. е. симметрировать его плечи, чтобы луч на экране не перемещался при повороте ручки плавной регулировки усиления, а также при переключении диапазонов чувствительности.

Обычно симметрирование производят подрегулировкой положения потенциометра *Баланс*. Для этого предусмотрены отверстия на боковой стенке корпуса прибора, где находится надпись



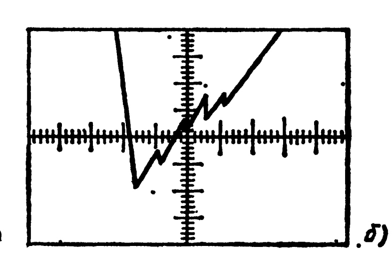


Рис. 3.5. Использование органов управления усилением для подробного рассмотрения формы сигнала:

а — исследуемый сигнал; *б* — увеличенный участок сигнала

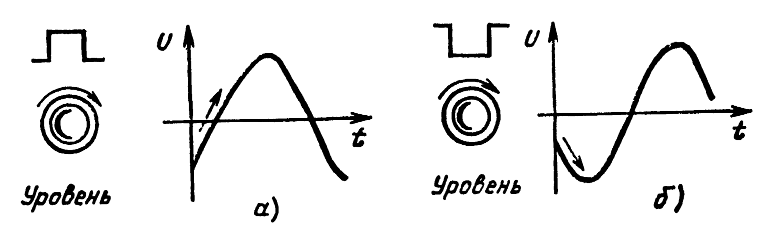


Рис. 3.6. Различные виды запуска нарастающим (*а*) и спадающим (*б*) сигналами

Баланс. При переключении *V/дел* на более чувствительные диапазоны добиваются минимального смещения, а потом устраняют перемещение луча при поворотах ручки *Плавно.*

Управление разверткой. При работе в автоколебательном режиме для исключения потери части сигнала из-за времени обратного хода луча нужно рассматривать по крайней мере три периода сигнала. Этот режим применяют в основном для высокочастотных периодических сигналов и импульсных сигналов длительностью свыше 300 мкс. Устойчивая синхронизация достигается ручкой УРОВЕНЬ, которая регулирует значение запускающего сигнала, заставляющего срабатывать генератор, формирующий импульс запуска развертки. Если уровень запуска установить бо́льшим, чем амплитуда запускающего сигнала, то запуска развертки не произойдет. Наибольшая чувствительность запуска при уровне, близком к нулевому, будет при среднем положении ручки *Уровень.* При вращении ручки вправо запуск будет производиться нарастающей формой сигнала — его фронтом, а при вращении влево — отрицательно идущей формой сигнала, отрицательным фронтом импульса (рис. 3.6).

В связи с тем что формы сигналов и цели измерений могут быть самыми разными, не может быть постоянного правила установки ручки *Уровень.* Правильно определить длительность исследуемого процесса по шкале осциллографа возможно только при установке ручки плавной регулировки длительности в определенное калиброванное положение, обычно обозначаемое знаком ▼ (калибровка). При периодически следующих импульсах рассмотрение фронта импульса при отсутствии линии задержки в осциллографе (например, «Сага») можно выполнить следующим образом: развертка должна запускаться для рассмотрения фронта последующего импульса предыдущим импульсом или на установленный момент раньше.

Влияние наводок. Как и в большинстве измерительных приборов, сигнал на входе осциллографа оценивается относительно «земли» прибора (внешняя часть входного коаксиального разъема, которая обычно электрически связана с корпусом). Послед-

ний в свою очередь соединяется с землей сети переменного тока через кабель питания. Это значит, что при измерении напряжения между двумя точками в схеме на самом деле измеряются потенциалы сигналов относительно земли.

В связи с этим, если подключить землю щупа осциллографа к точке в схеме, которая обладает некоторым потенциалом относительно земли, эта точка будет в результате закорочена на землю. Для испытываемой схемы иногда это может иметь самые отрицательные последствия. При измерении слабых и высокочастотных сигналов надо убедиться, что земля осциллографа и земля схемы, в которой проводятся измерения, одинаковы. Лучше всего для этого соединить землю щупа непосредственно с землей схемы, а затем измерить щупом напряжение земли и убедиться, что сигнал отсутствует. Однако очень часто короткий конец земля на щупе бывает оборван, на это не обращают внимания и получают искаженные результаты. Иногда при измерениях пользуются не щупом, а парой скрученных проводов, чтобы не было наводок, но в этом случае, кроме искажений сигнала получают еще и размытость фронта и дрожание, т. е. паразитные перемещения по горизонтали или по вертикали. При наводках гармонические составляющие сигнала на самых высоких частотах получаются чрезмерно увеличенными. Эти гармоники появляются в виде перегибов и пиков на изображении кривой (рис. 3.7). Размытость фронта или дрожание определяют в миллиметрах (рис. 3.8). Чаще всего встречается размытость фронта.

Наводки определяют при наибольших амплитудах изображения, усилении и различных скоростях развертки, наименьшей частоте запуска, измеряются в любом режиме работы осциллографа, в любой части экрана трубки и не должны превышать в нормальных условиях допустимой толщины луча трубки.

При настройке цепей частотной коррекции, усилительных каскадов, содержащих быстродействующие операционные усилители, цифровые схемы, входное сопротивление должно быть высоким, а входная емкость — малой. Однако входной кабель осциллографа длиной около 1 м совместно с емкостью входного каскада осциллографа образуют суммарную емкость 120—150 пФ (емкость кабеля с волновым сопротивлением $\rho=50$ Ом равна 100—125 пФ/м). Введение емкости в налаживаемое устройство во многих случаях влияет на его работу, что приводит к увеличению погрешности измерения формы сигналов на частотах свыше 10 кГц. Кроме того, широко внедряемые в настоящее время быстродействующие операционные усилители склонны к самовозбуждению при подключении указанной емкости осциллографа к их выходу. При настройке таких усилителей допустимая входная емкость щупа осциллографа должна быть равна 10—15 пФ.

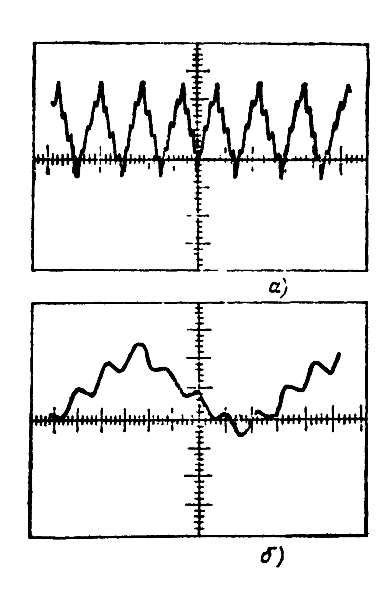


Рис. 3.7. Изображение наводки, полученное при разомкнутых входных проводниках, лежащих на столе:

а — наводка; *б* — растяжка × 10

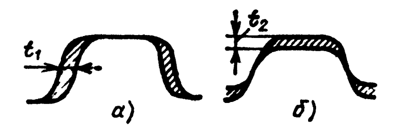


Рис. 3.8. Размытость или дрожание изображения:

t_1 — уровень дрожания по вертикали (размытость фронта); t_2 — уровень дрожания по горизонтали (размытость вершины)

Входная емкость $C_{вх}$ осциллографа снижается при использовании выносного компенсированного делителя 1 : 10. Уменьшая входную емкость со 150 до 10—15 пФ, он одновременно десятикратно снижает чувствительность осциллографа. Для существенного снижения входной емкости без уменьшения чувствительности применяют выносные активные щупы-пробники, в которых смонтированы повторители напряжения, построенные по самым различным схемам, в том числе и по более простому варианту— эмиттерного повторителя напряжения.

Благодаря глубокой отрицательной обратной связи параметры эмиттерного повторителя малочувствительны к шунтирующему действию емкости кабеля, включенной параллельно его нагрузочному резистору. При этом коэффициент передачи повторителя по напряжению близок к единице практически во всем диапазоне частот. Для повышения входного и снижения выходного сопротивлений, а также для ослабления зависимости выходного сопротивления от сопротивления исследуемой схемы такой щуп выполняют чаще всего на составном эмиттерном повторителе. Для проверки высокочастотных сигналов, например, осциллографом С1-92 следует использовать только прилагаемые к приборам высокочастотные кабели. Кабель обязательно должен нагружаться у входов каналов *I* и *II* на волновое сопротивление, равное 50 Ом. Заземляющая шина на ВЧ даже длиной в несколько сантиметров может создать помехи амплитудой порядка нескольких процентов.

Потери, вызываемые рассеянием энергии в диэлектрике кабеля, пропорциональны частоте сигнала. Таким образом, боль-

шая часть высокочастотной информации в импульсе с малым временем нарастания может быть потеряна в соединительном кабеле длиной всего в несколько десятков сантиметров в случае, если он не согласован с волновым сопротивлением.

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ВХОДНОЙ ЕМКОСТИ ОСЦИЛЛОГРАФА

Обычно эти характеристики определяются схемой (и в основном конструкторским решением) и указываются в сопроводительной документации. Но работники, использующие данный экземпляр прибора, часто хотят знать параметры именно этого прибора, поскольку необходимо стремиться к тому, чтобы входное сопротивление осциллографа и сопротивление исследуемой схемы были согласованы.

Входное сопротивление можно измерить с помощью моста сопротивлений типа ШМС или ему подобного, а входную емкость — с помощью измерителя емкости типа ЕВ-1 и др. Для этой цели используются также и генераторы сигналов. Однако это можно сделать с помощью осциллографа. Для этого выход калибратора или пилообразного напряжения с другого осциллографа подают на вход *У* через переменный резистор в несколько мегом. (Подача собственного выхода развертки на вход *У* одного и того же осциллографа результата не даст — изображения не будет). Установив сначала нуль сопротивления и длительность развертки примерно 10 мс/дел, подбирают такую чувствительность входа, чтобы размер изображения на экране составил, скажем, четыре деления (рис. 3.9). Затем перемещением движка резистора добиваются уменьшения изображения на экране вдвое. После этого резистор исключают из измерительной схемы и омметром измеряют его сопротивление, оно и будет равно активному входному сопротивлению осциллографа.

Для проверки значения входной емкости также можно воспользоваться генератором развертки, подав его сигнал на вход через конденсатор переменной емкости порядка 8—25 пФ. Длительность развертки устанавливают 10 мкс/дел. Конденсатор

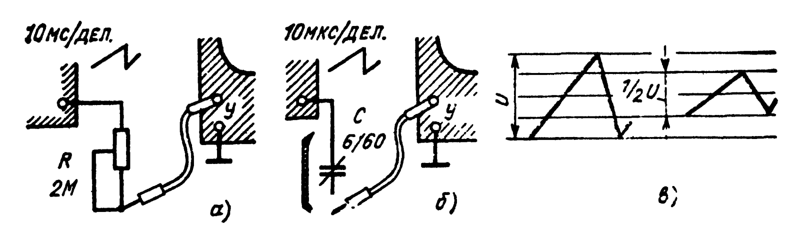


Рис. 3.9. Определение входного сопротивления осциллографа (*а*), входной емкости (*б*) и соотношение изображений (*в*)

закорачивают и измеряют полученный размер изображения. Затем перемычку удаляют и изменением емкости добиваются уменьшения изображения до половины первоначального. После этого измеряют емкость конденсатора — она и будет равняться входной емкости осциллографа (включая и входной кабель).

Подача сигналов на отклоняющие пластины ЭЛТ. При достаточной амплитуде сигнала, частота которого лежит на границе или за границей частотного диапазона, сигнал может быть подан непосредственно на отклоняющие пластины трубки. Это значительно уменьшает частотные и нелинейные искажения.

3.4. УХОД ЗА ОСЦИЛЛОГРАФОМ

Сохранение ЭЛТ. Выход из строя ЭЛТ — это одна из наиболее частых причин отказов осциллографов в работе, поэтому с трубкой надо обращаться бережно. При включении осциллографа луч должен быть заперт (ручка регулировки яркости повернута до отказа влево), между подачей напряжения на модулятор и катод должны проходить 2 мин, это позволяет увеличить срок службы ЭЛТ. При работе ЭЛТ желательно иметь небольшую яркость. Это определяет хорошую фокусировку и долговечность трубки. Повышение напряжения питания может вызвать паразитную эмиссию с электродов трубки, следствием которой будет паразитное свечение экрана. Понижение напряжения анода сокращает долговечность экрана, так как нагрузка люминофора увеличивается с понижением скорости электронов. Однако понижение напряжения анода требует значительного увеличения тока луча для компенсации падения яркости. Разрушение люминофора под действием бомбардировки его отрицательными ионами (ионное пятно) также быстрее обнаруживается при пониженном напряжении, от этой бомбардировки происходит затемнение всего экрана.

Если прибор длительное время не эксплуатировался, то перед его включением надо провести внешний осмотр, проверив его на отсутствие механических повреждений, прочность крепления органов управления и коммутации, наличие предохранителей, чистоту гнезд, разъемов и клемм, отсутствие отсоединенных или слабо закрепленных элементов схемы (определяется на слух при наклонах прибора) и т. д. Хорошие контакты — это гарантия надежной работы. Внутри осциллографов, особенно высоковольтных, в большом количестве скапливается пыль. Заземляющие выводы пробников, насадки могут стать источником неожиданных помех. Осциллограф нужно тщательно очищать от пыли, грязи, коррозии. Чистку желательно проводить в сухую погоду чистой сухой или смоченной в бензине Б-70 тряпкой или кисточкой. Лицевую часть экрана протереть от пыли сухой чистой салфеткой.

3.5. ОБЩИЙ ПОДХОД ПРИ НАСТРОЙКЕ И ОТЫСКАНИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ТРАНЗИСТОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Полное представление об исправности радиотехнического устройства можно получить после внешнего осмотра, сравнения измеренных значений сопротивлений и напряжений, а главное, осциллограмм в наиболее характерных точках с данными, приведенными в соответствующих инструкциях. При этом желательно пользоваться осциллографом того же типа, что и при снятии образцовых осциллограмм. В отдельных случаях необходимо проверить плавность хода и исправность потенциометров. Неисправность потенциометра обнаруживают омметром, но кратковременные скачки сопротивления, разрывы цепи или уровень шумов обнаруживаются с помощью осциллографа.

Замечания по технике безопасности. При ремонте транзисторной аппаратуры следует придерживаться некоторых правил. Следует помнить, что уже ток, превышающий 10 мА, может парализовать человека и лишить его возможности оторваться от провода, находящегося под напряжением. Воздействие тока более 100 мА может привести к смертельному исходу, хотя, скажем, этот ток значительно меньше тока батарейки карманного фонарика. Человеческая кожа имеет сопротивление несколько сот килоом, и угроза поражения током в низковольтных цепях мала, однако если человек вспотел или кожный покров его имеет повреждения, то сопротивление кожи уменьшается до нескольких сот ом, так что напряжение в 36 В может стать опасным.

При работе с любым напряжением надо соблюдать осторожность и выполнять определенные правила: не работайте в состоянии усталости, при плохом освещении или в сыром помещении, во влажной одежде; используйте только те инструменты, оборудование и защитные средства, которые указаны в инструкции; перед включением осциллографа и проверяемого прибора в сеть убедитесь в исправности сетевого шнура и соедините клеммы «Земля» с шиной заземления до других подсоединений с приборами.

Выравняйте потенциалы корпусов приборов, если их несколько, измеряя при открытом входе щупом осциллографа их по отношению к земляной шине.

Замену любого элемента производите только при отключенном от сети соединительном шнуре и при хорошем теплоотводе от паяльника. Проверьте, разряжены ли конденсаторы. Некоторые конденсаторы способны сохранять опасный для жизни заряд в течение длительного времени. Пользуйтесь в работе только исправным инструментом, не допускайте, чтобы в выносных делителях заземляющий вывод был оборван или заменен каким-то проводом.

Пользуйтесь только заземленным паяльником, поскольку изоляция между жалом паяльника и нагревательным элементом может нарушиться и жало паяльника окажется под напряжением сети; не производите пайку без теплоотвода.

Отсоединение клеммы от шины заземления производите после всех отсоединений.

При работе с приборами высокого вакуума — замене ЭЛТ, кинескопа — применяйте защитные очки.

Если произошло загорание, используйте огнетушитель на двуокиси углерода (CO_2).

Но главное — не начинайте работы по методу тыка, а ознакомьтесь тщательно с описанием той схемы и того осциллографа, с которым вам предстоит работать.

3.6. ОТКАЗЫ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ

Транзисторные устройства часто перестают работать из-за отказов источников питания (разряд батарей или другие дефекты). Напряжение питания можно проверить осциллографом. Для этого замыкают между собой рабочий вывод и «землю» пробника (чтобы снять размытость линии развертки из-за наводок) и смещают ручкой линию развертки на два деления ниже осевой линии. Устанавливают чувствительность 0,5 В/дел. при открытом входе. Затем прикладывают вывод Земля пробника к минусовому выводу батареи, а рабочий конец — к плюсовому выводу, смещение линии развертки на определенное число делений определит годность батареи и измерит ее напряжение (рис. 3.10).

Полезно также измерить потребляемый устройством ток. Если тестер покажет нулевое значение тока, то можно предположить обрыв цепи питания. Чрезмерный ток может свидетельствовать о наличии в схеме коротких замыканий или больших утечек. Иногда для того, чтобы вернуть прибору работоспособ-

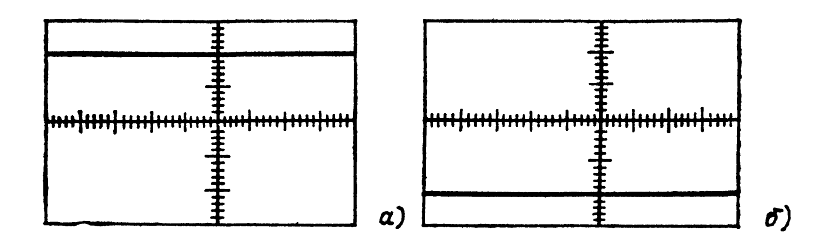


Рис. 3.10. Измерение постоянного напряжения для чувствительности входа 0,5 В/дел.:
а — напряжение 1 В; *б* — напряжение —1 В

ность, достаточно сменить батарею или предохранитель или зачистить выводы, подсоединенные к батарее.

Отказы в результате перегрева. Ток через переход, смещенный в обратном направлении, возникает из-за неосновных носителей, в прилегающих к переходу областях и равен току неосновных носителей, умноженному на коэффициент размножения носителей в переходе. В диодах при обратном смещении неосновные носители появляются только за счет процесса тепловой генерации электронно-дырочных пар. Их число при нормальной температуре мало, но при повышенной температуре ток неосновных носителей возрастает и, следовательно, растет ток через переход. При этом увеличиваются рассеиваемая в приборе мощность и разогрев перехода.

В некоторых случаях может развиться процесс лавинообразного нарастания тока, приводящий к разрушению полупроводникового прибора. Это явление носит название *теплового пробоя.* Его развитию благоприятствуют плохой теплоотвод, высокая окружающая температура, напряжения на переходе, близкие к предельным, и работа при большом уровне рассеиваемой мощности.

В транзисторах явление температурного пробоя происходит так же, как в диодах, углубляется эффектом усиления тока транзисторной структурой. Для предотвращения теплового пробоя в транзисторных каскадах предусматривают стабилизацию режима по постоянному току либо включают в коллекторную цепь резисторы, ограничивающие ток через переход.

В транзисторных усилителях низкой частоты используют электролитические конденсаторы большой емкости, в которых из-за старения могут возникать значительные токи утечки, изменяющие значения напряжений смещения. Такую неисправность отыскать довольно трудно.

Для проверки утечки в конденсаторах связи осциллограф подключают таким образом, чтобы он показывал форму сигнала на коллекторе транзистора, по входу которого подключен «подозрительный» конденсатор связи. Один из выводов конденсатора отсоединяют от схемы и наблюдают, изменится ли при этом коллекторный ток. Если при подключении и отключении конденсатора ток коллектора изменяется, то это свидетельствует о наличии утечки. Скачки тока в моменты включения из-за заряда конденсатора не учитываются.

Замыкания или разрывы в цепях переходов. Если обнаружено отсутствие тока коллектора или эмиттера, то нужно посмотреть форму сигнала или наличие напряжения на выводе базы. При пайке иногда нарушаются контакты между припаиваемой деталью и выводом транзистора. Если такая «холодная» пайка попадает в цепь базы, то токи базы, коллектора и эмиттера будут отсутствовать.

Разрушение транзистора из-за неправильного проведения измерений. Транзисторы плохо переносят перегрузки по току и напряжению в течение коротких промежутков времени. Броски

тока могут привести к разрушению перехода или к значительному изменению характеристик транзистора. Особенно чувствительны к перегрузкам приборы СВЧ.

При подключении контрольно-измерительных приборов, если их щупы недостаточно хорошо изолированы, случайное короткое замыкание может вызвать бросок тока. Сначала надо подключить щупы измерительного прибора к проверяемой цепи, а затем включить питание. Скачки напряжения или тока могут возникать при отъединении деталей от схемы, находящейся под напряжением, что иногда производится под предлогом ускорения работы. Это категорически недопустимо, так как в этом случае помимо опасности поражения током самого оператора возникает опасность выхода из строя многих комплектующих деталей.

Паразитная генерация. Некоторые транзисторы, особенно из предназначенных для работы в высокочастотных схемах, при проверке могут возбуждаться. Если режим каскада по постоянному току меняется при прикосновении пальцем или отверткой к коллекторному выводу, значит, имеет место самовозбуждение.

Паразитная генерация может возникать и тогда, когда проверяемый транзистор подключается к измерительному прибору длинными проводниками. Если транзистор возбуждается, то можно попробовать сорвать возбуждение, введя в цепь коллектора резистор в несколько десятков или сотен ом. Паразитная генерация не только искажает результаты измерений, но и может повлечь за собой разрушение транзистора, поскольку при генерации коллекторный и эмиттерный токи могут превысить допустимые значения.

Глава 4

АНАЛИЗ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА

4.1. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ

Рассматривая сигналы в радиотехнических транзисторных устройствах с помощью осциллографа, оператор сталкивается с сигналами синусоидальной формы различной частоты, с импульсными сигналами различной длительности, формы и частоты следования, сигналами сложных форм.

При измерении напряжения синусоидального сигнала тестером обычно определяют его действующее значение, равное 0,707 амплитудного. Пиковое напряжение синусоидального сигнала равно удвоенному амплитудному. Действующее значение синусоидального сигнала равно его пиковому напряжению, деленному на 2,83 (рис. 4.1).

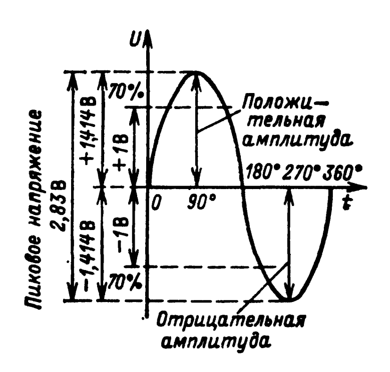


Рис. 4.1. Характеристики основного синусоидального сигнала

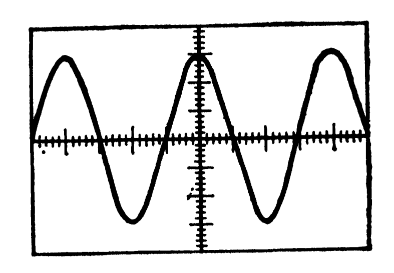


Рис. 4.2. Измерение амплитуды и длительности переменного напряжения. Положение переключателей: *V/дел* — 1 В, *Время/дел* — 1 мс. Амплитуда сигнала 6 В, частота — 250 Гц

Соотношения между действующим и амплитудным значениями напряжений, которые были справедливы для синусоиды, не будут верны для других форм сигналов, например для прямоугольного или треугольного. Поэтому обычно сравнивают напряжения различных форм по их пиковому значению. Пиковые значения наиболее удобны при анализе работы схем с помощью осциллографа, поэтому осциллограф калибруется по ним.

Целесообразно, чтобы измеряемая часть сигнала занимала 0÷90 % рабочей части экрана. В этом случае погрешность измерения можно уменьшить в 1,5—2 раза по сравнению с приведенной в технических характеристиках. Для измерения переменного напряжения производят балансировку каналов (для двухканальных приборов типа С1-92) и плеч усилителя. Устанавливают переключатель чувствительности в такое положение, чтобы размеры изображения были не менее трех делений (а больше — лучше) и переключателем *Время/дел* развертки получают несколько периодов исследуемого сигнала (рис. 4.2). Ручка ↕ устанавливается так, чтобы один уровень сигнала совпадал с одной линией шкалы, а другой — находился в пределах экрана ЭЛТ. Ручкой ↔ горизонтального перемещения изображение смещается таким образом, чтобы один из уровней находился на центральной вертикальной линии шкалы. Ручка *Плавно* при этом находится в крайнем правом положении. Число делений между крайними точками изображения по вертикальной оси умножается на показания переключателя *V/дел* и на 10, если используется при измерении выносной делитель 1 : 10.

Приводимые в справочниках нормы погрешностей относятся к самым худшим случаям: минимальному размеру изображения

(30 % от общего числа делений по координате измерений). Но при этом нельзя не учитывать частоты измеряемого сигнала. Если, допустим, синусоидальный сигнал с частотой 10 МГц наблюдается на экране осциллографа с полосой также 10 МГц, то наблюдаемая амплитуда сигнала будет меньше фактической на 30 %, поэтому лучше всего работать с запасом по полосе пропускания до 5 раз. Значения основной погрешности измерения амплитуды импульсов прямоугольной формы длительностью не менее времени нарастания переходной характеристики при максимальном размере изображения 4 деления составят 5 %.

Точности измерения напряжения возрастают при беспараллаксных шкалах, которые наносятся с внутренней стороны ЭЛТ, применяемых во всех современных осциллографах.

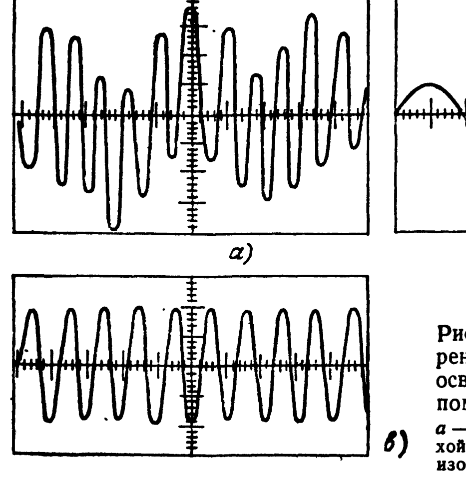
При измерении постоянного напряжения работают с открытым входом. Линию развертки (при неизвестной полярности измеряемого источника) устанавливают на центральную осевую линию и подключают «горячий» и земляной концы щупа к источнику напряжения. Если линия развертки пошла вверх, то, значит, входной щуп подключен к плюсовому выводу, при смещении луча вниз — полярность подключения обратная.

Смещение луча по делениям умножается на цену деления и, таким образом, измеряется напряжение (см. рис. 3.10).

Но самые большие возможности измерения напряжений (точнее, малых изменений уровня больших напряжений) представляют дифференциальные усилители (С1-92 и др.). Для этого на один вход усилителя подают исследуемый сигнал, имеющий большую постоянную составляющую, а на другой — постоянное напряжение той же полярности, что и исследуемый сигнал. При этом наблюдают только небольшую переменную составляющую. Этот же усилитель позволяет рассмотреть сигнал, избавленный от помех. На один его вход подается сигнал с помехой (рис. 4.3,*а*), а на другой — одна помеха (рис. 4.3,*б*). Результирующий сигнал показан на рис. 4.3,*в*.

С помощью осциллографа исследуются импульсы различных форм: прямоугольные, трапецеидальные (симметричные и несимметричные) с линейными или экспоненциальными фронтом и спадом, треугольные, синусквадратные и т. д.

При этом погрешности измерения амплитуд импульсных сигналов с плоской вершиной (прямоугольные, трапецеидальные) будут меньше, чем погрешности измерения амплитуд сигналов, не имеющих плоской вершины (колоколообразные, треугольные и т. п.) даже при одних и тех же длительностях, амплитудах, фронтах и частотах повторения сигналов. Но, в общем, при измерении напряжений с помощью осциллографа необходимо соблюдать следующие правила: при переходе от калибровки к измерению не надо трогать ручек регулировки усиления; помнить, что применение выносных делителей увеличивает погреш-



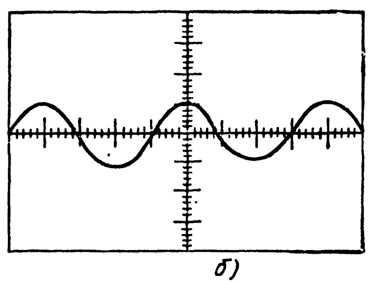


Рис. 4.3. Применение дифференциального усилителя для освобождения изображения от помехи:

а — изображение сигнала с помехой; *б* — изображение помехи; *в* — изображение «чистого» сигнала

ность измерений; пользоваться усилителем только в пределах полосы пропускания, а высокочастотные сигналы подавать на пластины ЭЛТ; избегать применения длинных соединительных проводов, емкость которых шунтирует исследуемую цепь и искажает данные измерений.

4.2. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СИГНАЛА

Длительность сигнала измеряют различными методами: по яркостным меткам, по кварцевому калибратору, а в современных осциллографах — по калиброванным разверткам. В этом случае скорость развертки следует установить такой, чтобы измеряемый сигнал или его участок занял максимальное число делений горизонтальной шкалы (рис. 4.4).

Измерения нужно проводить либо оба по правым, либо оба по левым краям линии изображения (для уменьшения погрешности измерения за счет толщины линии луча). При увеличении длины измеряемого интервала на экране ЭЛТ точность измерений увеличивается. Обратимся к рис. 4.4, на котором 5 периодов занимают расстояние 9 делений шкалы при коэффициенте развертки 2 мкс/дел. Тогда частота сигнала

$$f=n/(lT_р)=5/(9\cdot 2\cdot 10^{-6})=5\cdot 10^{-6}/18=277 \text{ кГц},$$

где n — число измеренных периодов; l — расстояние, которое занимают измеренные периоды, дел.; $T_р$ — коэффициент развертки на измеряемом диапазоне с/дел.

Чтобы гарантировать точность измерения, желательно иметь время установления осциллографа на порядок меньше измеряе-

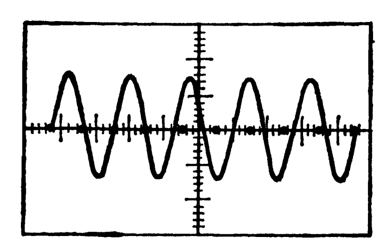


Рис. 4.4. Измерение длительности сигнала

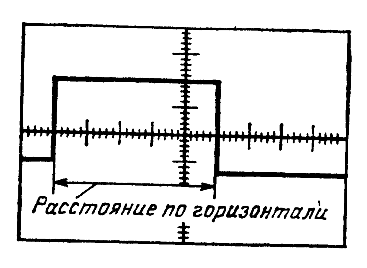


Рис. 4.5. Измерение временно́го интервала между двумя точками сигнала

мой длительности сигнала. Однако это не всегда возможно. Но если измеряется длительность фронта или спада трапецеидального импульса либо длительность самого этого импульса на уровне 0,5, то влияние времени установления осциллографа легко учесть.

Длительность прямоугольного (или трапецеидального) импульса, отсчитанная по шкале осциллографа на уровне 0,5 амплитудного значения, равна истинной длительности входного импульса, отсчитанной также на уровне 0,5.

Истинная длительность вершины импульса на уровне 0,9 амплитудного значения больше кажущейся (видимой на экране) на значение

$$\Delta t = t_ф - \sqrt{t^2_ф - t^2_у},$$

где $t_ф$ — кажущаяся длительность фронта; $t_у$ — время установления осциллографа.

Длительность по основанию на уровне 0,1 меньше кажущейся на такое же значение, только вместо кажущейся длительности фронта $t_ф$ нужно подставить длительность спада $t_с$. Правила эти справедливы, если изображение импульса на экране имеет плоскую вершину.

На рис. 4.5 показано измерение временного интервала между двумя точками сигнала. Переключатель *Время/дел* установлен в положение 0,5 мс. Изображение занимает 5 делений. Следовательно, временно́й интервал между двумя точками сигнала будет 0,5×5=2,5 мс.

Для измерений временно́го сдвига между двумя сигналами, например, с помощью осциллографа С1-92 применяют двухканальный режим работы прибора (рис. 4.6). Сигналы подаются на оба входа прибора одинаковыми коаксиальными кабелями с одинаковым временем задержки. Если сигналы противоположной полярности, то нажатием кнопки *Инверт* меняют полярность сигнала в канале *II*. Переключателем *V/дел* устанавливают размер изображения 4—6 делений, ручкой *Уровень* — устойчи-

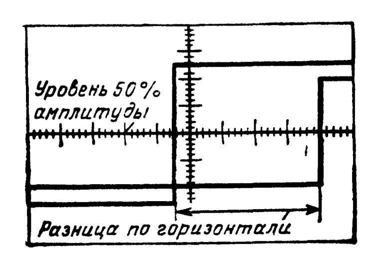
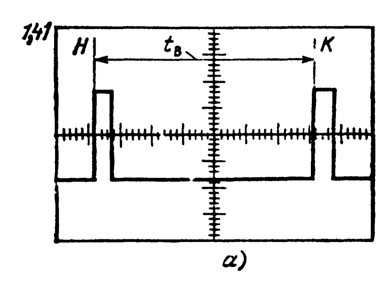


Рис. 4.6. Измерение временно́го сдвига между двумя сигналами



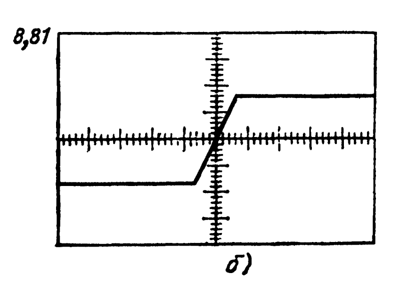


Рис. 4.7. Измерение временны́х интервалов с помощью задержанной развертки:

Н, К — начало и конец отсчета; $t_в$ — временно́й интервал. Переключатель *Время/дел* — на 0,2 мкс. Интервал между импульсами (8,81—1,41)·0,2=1,48 мкс

вую синхронизацию. Переключателем *Время/дел* устанавливают между двумя импульсами 4 и более делений. Ручкой смещения ↕ устанавливают точки изображения, между которыми проводится измерение, на центральную линию шкалы ЭЛТ, а ручкой ↔ сигнал, поданный на вход канала *I*, на пересечение центральной горизонтальной линии шкалы с вертикальной линией. Затем измеряют расстояние по горизонтали между точками в середине импульса (рис. 4.6) и умножают его на коэффициент развертки, установленный переключателем *Время/дел.*

В осциллографах, имеющих двойную систему разверток (например, С1-92, блок Я4С-91 и др.), временны́е интервалы измеряют с погрешностью 1,5—2 %. На рис. 4.7 показано изображение двух сигналов. Ручкой *Задержка* устанавливают подсветку участка, который должен быть растянут. Длительность этого участка регулируется ручкой *Время/дел* развертки *Б*, и при переключении в положение $А+Б_{задерж}$ весь этот участок появляется на экране. Увеличение длительности изображения («лупа времени») можно определить, разделив показания переключателей *Время/дел* развертки *А* на развертку *Б* (в данном случае — около 100).

Измерение периода. Можно, конечно, просто измерить длительность одного периода, как и при измерении длительности импульса, но лучше измерить длительность 5—10 периодов, развернув их на весь экран, и разделить измеренную длительность на число периодов. Заметим, что измерение периода возможно даже в тех случаях, когда частота входного сигнала выше верхней предельной частоты полосы пропускания осциллографа, так

как точность передачи формы и амплитуды при этом несущественна. На современных осциллографах, имеющих плавный спад за пределами полосы пропускания, возможности умножения развертки и запас по частоте синхронизации, можно измерить период частоты сигнала в 2—5 раз выше предельной.

4.3. ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗЫ И ЧАСТОТЫ

Измерение можно производить с помощью осциллографа и генератора по фигурам Лиссажу, если сигнал имеет простую форму. При этом максимальная измеряемая частота ограничена полосой пропускания усилителей X осциллографа, так как усилители канала Y более широкополосные. В осциллографе С1-92 для работы в режиме $X — Y$ сигналы подаются на входы каналов I и II и нажимается кнопка $X — Y$. Этот режим используется для определения фазовой разницы между двумя сигналами одной частоты. Этот метод более удобен для частот сигналов до 100 кГц. Изображение устанавливается на середину экрана ЭЛТ (рис. 4.8,*а*) и переключателями *V/дел* обеспечивают размах изображения до четырех делений в каждом направлении. Переключатель *V/дел* канала I управляет вертикальным отклонением, а переключатель *V/дел* канала II — горизонтальным. Изображение располагают симметрично относительно вертикальной градуированной линии шкалы экрана ЭЛТ. Измеряют расстояния L между точками пересечения кривой с вертикальной градуированной линией и расстояние H — максимальное по вертикали. Синус фазового угла φ определяют, разделив L/H, т. е. $\sin\varphi = L/H = 2/4 = 0{,}5$, откуда $\varphi = 30°$. Необходимо учесть имеющуюся собственную разность между усилителями Y и X, которая вызывается разницей между их схемами и конструкцией и дается в характеристиках прибора. В данном случае она равна 3°, т. е. $\varphi =$

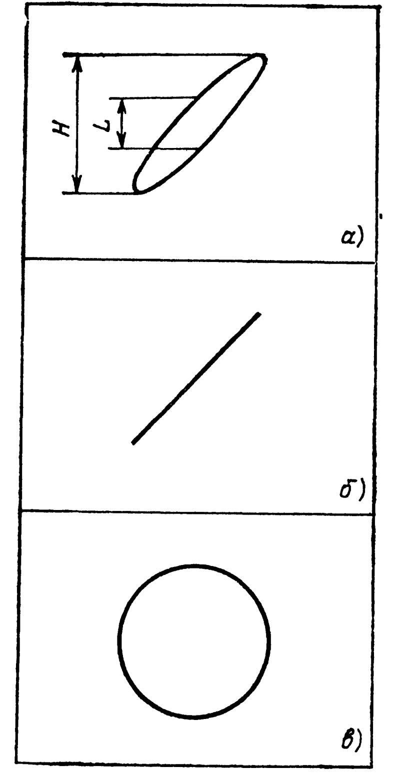


Рис. 4.8. Измерение разности фаз между двумя сигналами одной частоты

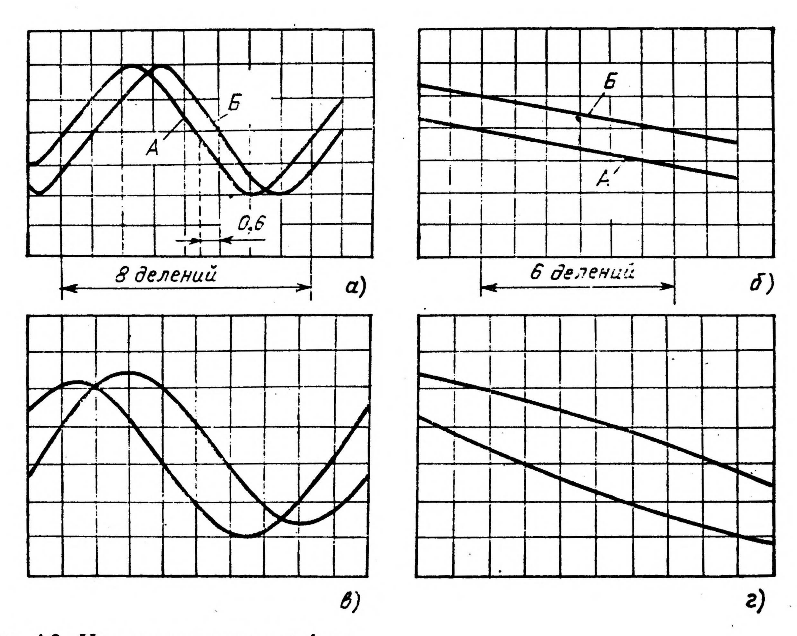


Рис. 4.9. Измерение разности фаз:
а и *б* — графически; *в* и *г* — аналогично по осциллограмме; f=1 МГц; *Время/дел* — 0,2 мкс

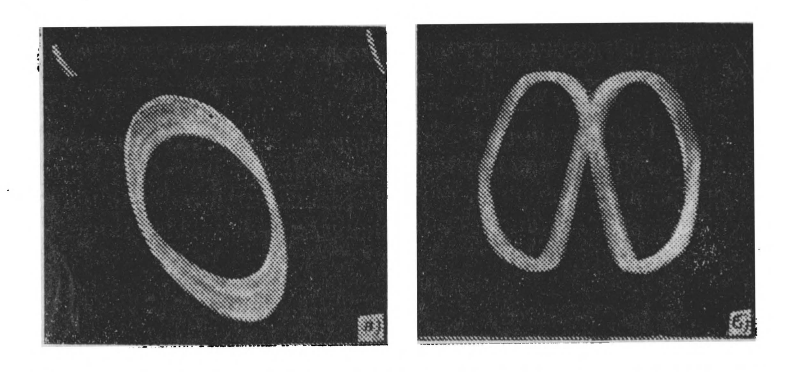


Рис. 4.10. Примеры фигур Лиссажу при различных соотношениях частот

=30—3=27°. При нулевом сдвиге получают прямую линию (рис. 4.8,*б*), при сдвиге 90° — окружность (рис. 4.8,*в*).

Измерение разности фаз можно проводить, как показано на рис. 4.9. Фазовый коэффициент определяется как отношение 360°/n, где n — число делений, занимаемых одним периодом сигнала.

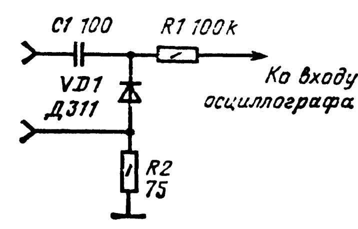


Рис. 4.11. Одна из схем измерения частоты исследуемого сигнала

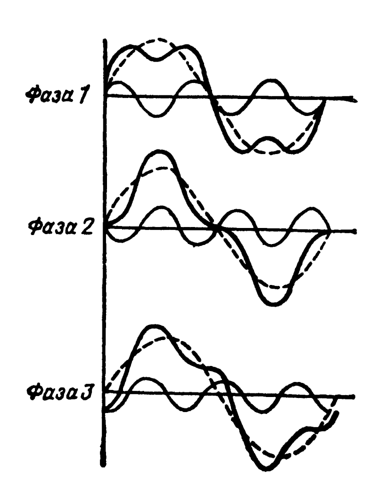


Рис. 4.12. Искажение сигнала благодаря сдвигу по фазе третьей гармонической составляющей, имеющей амплитуду 30 % основного сигнала

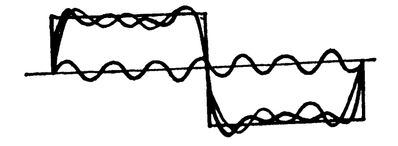
Измеряют разность по горизонтали между соответствующими точками сигналов (в делениях шкалы) и умножают измеренное расстояние в делениях на фазовый коэффициент для получения точного значения фазовой разности. В данном примере фазовая разность равна $360/8 \cdot 0{,}6 = 27°$. Более точное измерение фазы между двумя сигналами производится включением растяжки разверток. В этом случае погрешность измерения разности фаз уменьшится в 10 раз. Фигуры Лиссажу для соотношения частоты 1 : 1 приведены на рис. 4.10,*а* и 1 : 2 — на рис. 4.10,*б*. В данном случае один из источников — нестабилен.

Другой способ измерения частоты свободен от ограничения, налагаемого более узкой полосой усилителя. Он заключается в том, что сигналы измеряемой частоты и генератора подводятся к простейшему смесителю (рис. 4.11), а осциллограф используется как индикатор нулевых биений. Обычно нулевые биения наблюдаются на нескольких частотах. Биения максимальной амплитуды соответствуют совпадению основных частот, а последующие — их гармонических составляющих. Но при этом легко может произойти и искажение сигнала. На рис. 4.12 показано, как вторая и третья гармоники, опаздывающие по фазе, могут искажать основной сигнал в зависимости от того, попадают они в положительную или отрицательную форму сигнала.

4.4. ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

Сигнал прямоугольной формы, который применяется как испытательный при исследовании радиоустройств, может быть разложен на большое число синусоидальных сигналов, частота которых увеличивается, а амплитуда уменьшается. Но все эти составляющие обычно находятся в фазе по отношению к основ-

Рис. 4.13. Синтез формы прямоугольного сигнала из синусоидальных гармонических составляющих: основная частота, третья и седьмая гармоники



ной (проходят через нуль одновременно). Амплитуда гармоник обратно пропорциональна порядку гармоник. На рис. 4.13 видно, что уже воспроизведение седьмой гармоники позволяет получить форму, относительно близкую к исходной форме прямоугольного сигнала.

Связь параметров переходной характеристики осциллографа с погрешностями измерения исследуемых сигналов. Параметры переходной характеристики (ПХ) осциллографа достаточны для того, чтобы по ним можно было при необходимости определить погрешность измерения сигнала любой формы.

Для типичной переходной характеристики осциллографа (рис. 4.14) характерны участки: 1) *ab* (*a′b′*) — нарастание от уровня 0,1 до уровня 0,9 — время нарастания ($\tau_н$); 2) точка *c* — мгновенное значение ПХ, соответствующее максимальному превышению над установившимся значением и определяющее величину выброса ($\delta_в$); 3) *ad* (*a′d′* — время установления ($\tau_у$), после которого дальнейшие отклонения ПХ от установившегося значения не превосходят оговоренной величины, в качестве которой обычно берется допустимая величина неравномерности установившегося значения ПХ; 4) участки *dg* (*d′g′*) и *ef*

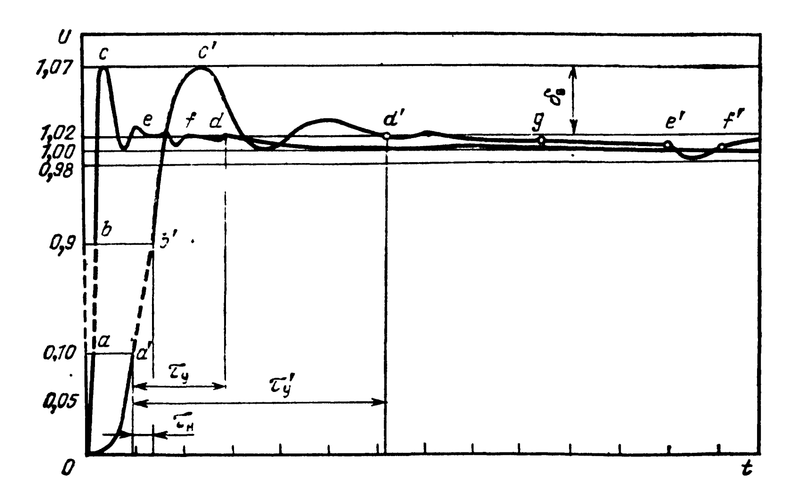


Рис. 4.14. Изображение переходной характеристики осциллографа (приведено изображение двух импульсов)

$(e'f')$ — типичные формы неравномерности (γ) ПХ, а в неравномерность включаются отражения, синхронные наводки, спады, подъемы, наклоны и т. п.

Рассмотрим связь этих параметров ПХ с погрешностями воспроизведения сигналов.

Время нарастания влияет на точность воспроизведения сигналов, длительность или период повторения которых одного порядка со временем нарастания осциллографа. Для большинства реально существующих форм сигналов, в том числе и колоколообразного, синусоидального и синусквадратичного импульсов, погрешность воспроизведения, обусловленная временем нарастания ПХ осциллографа, не превышает 2 %, если длительность (время нарастания) импульсного сигнала не менее чем в пять раз превышает время нарастания ПХ осциллографа, а период повторения непрерывных сигналов не менее чем в пять раз превышает время нарастания ПХ осциллографа («правило пяти»).

Выброс. Если время нарастания исследуемого сигнала равно или превышает $3\tau_н$ ПХ, а длительность выброса не превышает $2\tau_н$ ПХ, то погрешность воспроизведения сигнала в виде дополнительного выброса не превышает 0,2 от значения выброса ПХ. Неравномерность вершины ПХ осциллографа обычно ограничивают 1—2 %. В этом случае не имеет смысла стремиться к уменьшению выброса менее 3—5 %, так как погрешность воспроизведения сигналов, обусловленная выбросом ПХ 3—5 %, не превышает погрешности, обусловленной неравномерностью вершины ПХ.

Время установления определяет минимальную длительность сигнала прямоугольной формы, параметры которого могут быть измерены на осциллографе с такой же точностью, как и параметры сигналов большей длительности.

Неравномерности больших длительностей ($\gg\tau_н$) полностью воспроизводятся при передаче исследуемых сигналов некоторых форм (например, прямоугольных импульсов), поэтому неравномерность должна полностью входить как составляющая погрешности измерения амплитуды. Неравномерности малых длительностей ($\ll\tau_н$), если они не являются синхронными наводками на вертикальный тракт сигналов от других узлов осциллографа, воспроизводятся на исследуемом сигнале в зависимости от спектральных составляющих этого сигнала. Однако в связи с трудностями разделения неравномерностей, являющихся следствием внутренних синхронных наводок осциллографа и неравномерностей, обусловленных ПХ, например отражениями в вертикальном тракте, необходимо любую неравномерность ПХ независимо от ее формы и длительности считать как составляющую погрешности измерения амплитуды исследуемых на осциллографе сигналов.

4.5. ТРАНЗИСТОРНЫЕ ФОРМИРУЮЩИЕ ЦЕПИ

Ограничивающие цепи являются наиболее распространенными формирующими цепями. Их можно классифицировать как ограничители с насыщением, с отсечкой или с их комбинацией. Ограничение уровня может сочетаться с усилением сигнала.

На рис. 4.15,*а* показана упрощенная схема транзисторного ограничителя с усилением, на рис. 4.15,*г* — статическая переходная характеристика транзисторного усилительного каскада с общим эмиттером. Ограничение насыщением происходит при соответствии напряжения смещения точке *А* характеристики (рис. 4.15,*г*). Во время положительного полупериода входного напряжения работа происходит на линейном участке, ограничения не происходит. Во время отрицательного полупериода входной сигнал увеличивает прямое смещение перехода эмиттер — база, увеличивая ток эмиттера. Транзистор работает на участке насыщения *АВ* характеристики, и происходит ограничение сигнала насыщением (рис. 4.15,*б*).

Ограничение отсечкой получается тогда, когда рабочая точка транзистора в отсутствие сигнала соответствует точке *Б* (рис. 4.15,*г*). В этом случае при положительной полуволне транзистор работает на участке характеристики *БГ* и наступает ограничение. При отрицательной полуволне, если сигнал не выводит транзистор за пределы участка *БА*, сигнал усиливается линейно (рис. 4.15,*в*).

Двустороннее ограничение происходит, если входной сигнал имеет достаточный размах, обеспечивающий заход на участки *АВ* и *БГ* характери-

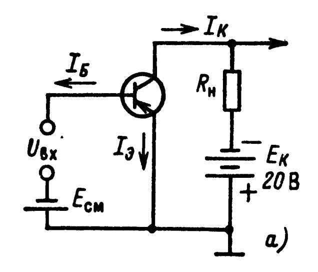


Рис. 4.15. Транзисторный ограничитель:

а — схема; *б* — форма выходного сигнала при ограничении насыщением; *в* — форма выходного сигнала при ограничении отсечкой; *г* — статическая переходная характеристика

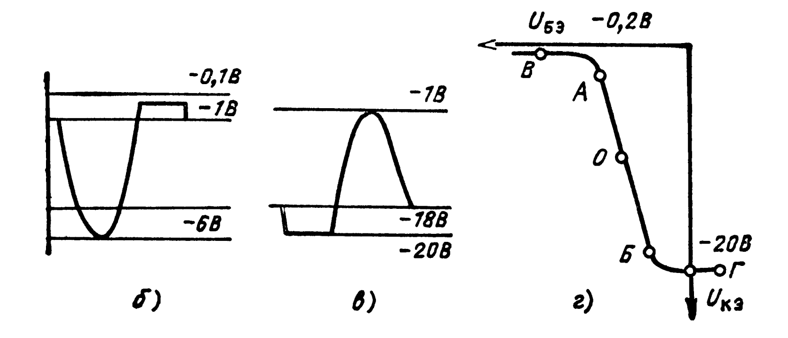


Рис. 4.16. Ограничитель-селектор отрицательных пиков

стики. Ограничение будет симметричным, если рабочая точка при нулевом сигнале попадает на середину линейного участка характеристики (точка 0 на рис. 4.15,*г*). Когда прямоугольный сигнал формируется из слабого синусоидального, для качественного ограничения нужно предварительное усиление.

Ограничители применяют в радиоприемниках с частотно-модулированными сигналами, в звуковом канале телевизора для устранения паразитной частотной модуляции.

Транзисторные селекторы представляют собой разновидность ограничителей. Их назначение пропускать и ограничивать положительные или отрицательные пики и отбрасывать оставшуюся часть сигнала. Простейшее изображение такого селектора-ограничителя отрицательных пиков дано на рис. 4.16. Переход транзистора база — эмиттер (в отсутствие сигнала) имеет нулевое смещение. Но при поступлении отрицательного полупериода сигнала появляется базовый ток, который заставляет конденсатор связи заряжаться, увеличивая запирающее смещение на базе. Между отрицательными пиками входного сигнала некоторая часть напряжения стекает на землю. Значение этой утечки зависит от постоянной *RC* в цепи базы.

Входной синусоидальный сигнал будет открывать переход база — эмиттер в течение каждого отрицательного пика, чтобы возместить утечку заряда. Амплитуда ограниченного предельного сигнала в коллекторной цепи и степень ограничения зависят от постоянной времени в цепи базы, а также от уровня входного сигнала. При малых входных сигналах в коллекторную цепь проходит почти половина периода входного сигнала, а при больших сигналах — только небольшая часть вершины.

Этот принцип широко используется в телевидении для выделения синхронизирующих импульсов. Длительность строчных импульсов синхронизации составляет 5 мкс, а кадровых — 200 мкс. Выделение импульсов синхронизации из общего телевизионного сигнала выполняется простым амплитудным селектором-ограничителем по минимуму, так как синхронизирующие импульсы всегда превышают сигнал изображения, а далее для выделения строчных синхроимпульсов используются дифференцирующие ячейки, а для выделения кадровых синхроимпульсов — интегрирующие. Для проверки осциллографом этих

форм сигналов необходимо использовать частоту развертки 0,2 Гц/дел., скорость 0,02 мкс/дел. и чувствительность входа 2 В/дел.

4.6. НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ СИГНАЛОВ

Генераторы сигналов можно разделить на два класса: генераторы импульсных сигналов различных форм и генераторы синусоидальных сигналов.

Генераторы импульсных сигналов. Они представляют собой нелинейные системы, генерирующие колебания с крутыми перепадами токов и напряжений. Их выполняют на усилителях с широкополосной положительной обратной связью. Эти схемы — мультивибраторы, блокинг-генераторы и триггеры — широко применяют в осциллографической технике.

Мультивибраторы предназначены для получения прямоугольных импульсов заданной длительности, деления частоты следования импульсов, задержки импульсов относительно импульсов запуска и др.

На рис. 4.17 показано применение мультивибратора в качестве генератора в схеме коммутатора двухканального осциллографа (см. рис. 2.6). Электронный переключатель, управляющий выходами усилителей *А* и *Б*, собран на мультивибраторе на транзисторах *VT1* и *VT2*, работающем в автоколебательном режиме. Формирующий каскад на выходе мультивибратора обеспечивает четкое переключение. Сигналы со входов *А* и *Б* попе-

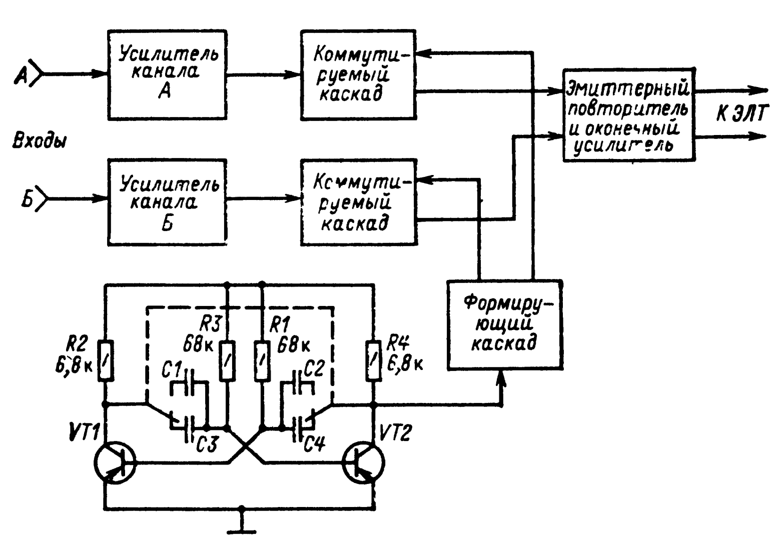


Рис. 4.17. Структурная схема усилителя-коммутатора двухканального осциллографа

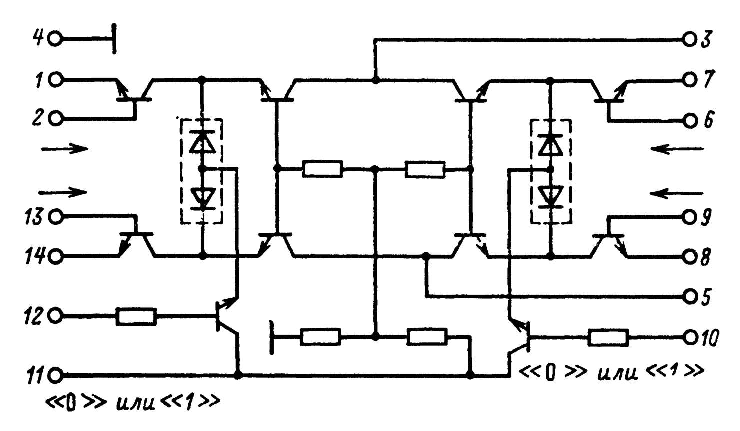


Рис. 4.18. Усилитель-коммутатор аналогичного назначения в виде интегральной схемы частного применения

ременно поступают на эмиттерные повторители и на оконечный усилительный каскад.

На рис. 4.18 приведен переключатель режимов работы усилителя *Y* осциллографа С1-92 в интегральном исполнении на гибридной микросхеме частного применения МС-1. В зависимости от того, какая кнопка управления режимами нажата: *1* — только канал *I*, ... — прерывисто, Σ — алгебраическая сумма каналов I и II, → → — поочередно, *2* — только канал *II* — схема управления обеспечивает на контактах *10*, *12* микросхемы МС1 ≪0≫ или ≪1≫. В ответ на это схема коммутаторов выбирает один или смешивает два входных аналоговых сигнала, поступающих на контакты *6*, *9* или *2*, *13* микросхемы с усилителей каналов. На контакт *13* со схемы синхронизации подаются управляющие импульсы, поступающие с независимой частотой или с частотой развертки.

В отличие от мультивибраторов в блокинг-генераторах транзисторы открываются только на время формирования импульсов, благодаря чему возможен форсированный режим работы транзисторов и увеличение отдаваемой мощности в импульсе. Блокинг-генератор может работать в автоколебательном или ждущем режимах.

На рис. 4.19 дана схема блокинг-генератора, взятого из телевизора, собственная частота задается времязадающей цепью *R7*, *C4*, включенной в эмиттер транзистора *VT*. Особенность такой схемы состоит в том, что напряжение на *RC* цепи не содержит импульсной составляющей и может подаваться непосредственно на усилитель. Период собственных колебаний определяется постоянной *RC*, а также положением резистора *R2*. В импульсных трансформаторах *T* обычно применяются ферри-

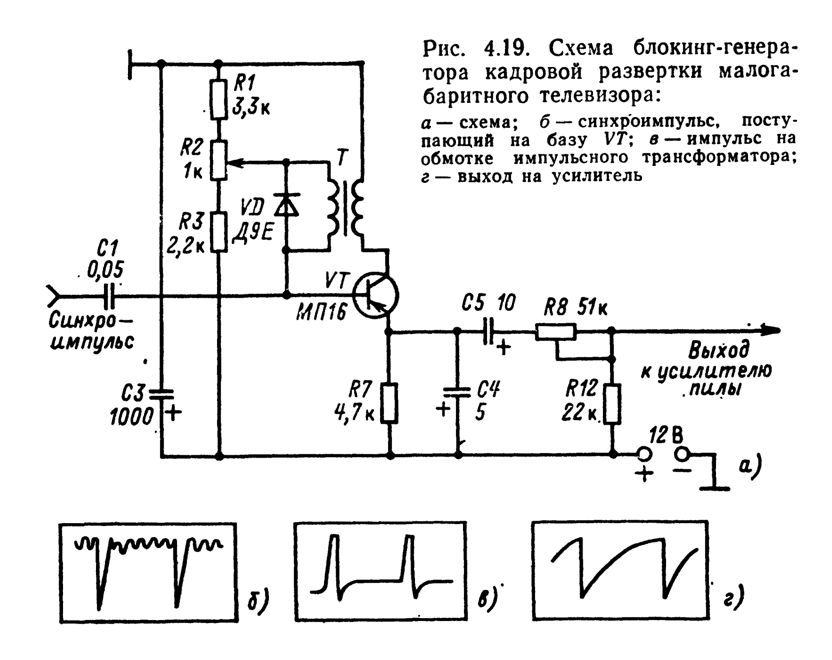


Рис. 4.19. Схема блокинг-генератора кадровой развертки малогабаритного телевизора:

а — схема; *б* — синхроимпульс, поступающий на базу *VT*; *в* — импульс на обмотке импульсного трансформатора; *г* — выход на усилитель

товые сердечники, добротность которых может вызвать появление различных нестационарных процессов. Диод *VD* шунтирует вторичную обмотку трансформатора после выключения *VT*, рассеивая избыточную энергию, накопленную в сердечнике трансформатора и предотвращая появление чрезмерно больших импульсов напряжения, которые могли бы вывести из строя транзистор или вызвать повторный самопроизвольный запуск.

При указанных на схеме параметрах *RC*-цепи ее постоянная времени близка к периоду следования полукадров, поэтому напряжение на выходе будет иметь заметную нелинейность, легко различимую на экране осциллографа (рис. 4.19,*г*). Эта нелинейность компенсируется в последующих каскадах усилителя.

Кадровые синхроимпульсы отрицательной полярности поступают на базу *VT* через конденсатор *C1*. Потенциометром *R2* устанавливают частоту собственных колебаний несколько ниже частоты приходящих синхроимпульсов. Амплитуда выходного напряжения (и, следовательно, тока в кадровых катушках отклоняющей системы) регулируется переменным резистором *R8*.

Если при проверке осциллографом частота колебаний блокинг-генератора отличается от требуемой или наблюдаются произвольные ее изменения, следует проверить исправность деталей, определяющих постоянную времени. Изменения частоты, которые сопровождаются падением амплитуды импульсов, что

сразу видно на экране осциллографа, могут быть вызваны дефектом трансформатора.

Блокинг-генераторы часто применяют в схемах делителей частоты, обеспечивая в одном каскаде коэффициент деления до 10—20. Если частота синхроимпульсов меняется в широком диапазоне, а коэффициент деления частоты должен оставаться неизменным, то блокинг-генератор использовать нельзя. В таком случае применяют дискретные делители частоты на основе триггеров.

4.7. ТРАНЗИСТОРНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ СИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

LC-генераторы. LC-генераторы применяют в приемниках, магнитофонах и других устройствах. В радиоприемнике LC-генератор выполняет функции гетеродина, а в магнитофоне создает переменное напряжение подмагничивания при записи и стирании.

На рис. 4.20,*а* показана схема LC-генератора на транзисторе *n-p-n* по схеме трех точек. Отвод катушки подключен к эмиттеру. Резистор $R_б$ обеспечивает подачу смещения на переход база — эмиттер. Значения L и C контура определяют частоту колебаний, которую можно просмотреть на осциллографе (рис. 4.20,*б*). Конденсатор $C_б$ разделяет по переменному току катушку контура и базу транзистора, а $C_э$ устраняет отрицательную обратную связь через $R_э$. Катушка с отводами определяет коэффициент связи трансформатора с контуром и коэффициент трансформации между эмиттером и базой.

В установившемся режиме напряжения на базе и эмиттере близки к синусоидальным, ток эмиттера и коллектора имеет вид коротких импульсов. Непосредственное наблюдение формы эмиттерного тока невозможно без токового пробника, но ток коллектора легко наблюдать, включив в цепь коллектора резистор небольшого сопротивления (около сотни Ом для маломощных генераторов). Введение этого резистора полезно и по другой причине — он предотвращает возможное возбуждение транзистора на сверхвысокой частоте за счет паразитной индуктивности коллекторной цепи.

Наблюдение за формой коллекторного тока позволяет сделать вывод о запасе возбуждения: при большом запасе возбуждения импульсы коллекторного тока узкие, при малом — составляют значительную долю периода. Большой запас возбуждения означает надежность работы генератора, несмотря на воздействие неблагоприятных факторов (ухудшение добротности контура, понижение напряжения питания, изменение параметров транзисторов и т. д.).

С помощью осциллографа можно настраивать генераторы, собранные по другим схемам. Для оценки длительности импуль-

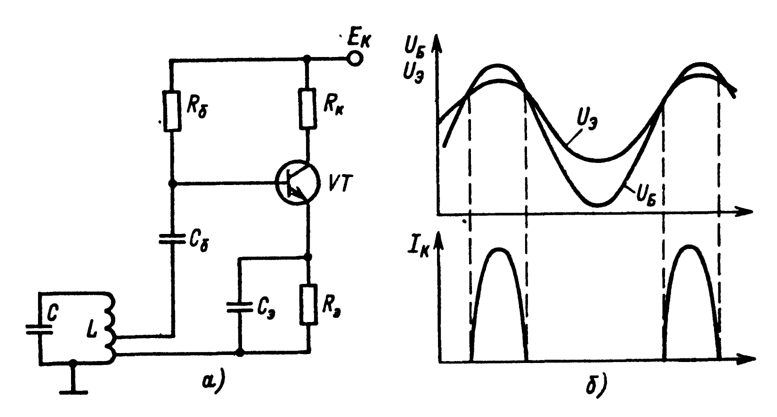


Рис. 4.20. *LC*-генератор:
а — схема; *б* — формы сигналов

сов коллекторного тока требуется осциллограф с полосой пропускания на порядок выше частоты генератора. Длительность импульсов коллекторного тока можно также оценить, рассматривая на двухканальном осциллографе напряжения базы и эмиттера и определив долю периода, в течение которой напряжение базы больше напряжения эмиттера на значение отпирания эмиттерного перехода. В этом случае требования к полосе пропускания осциллографа существенно ниже, но и точность измерений также уменьшается.

С помощью осциллографа легко определить нежелательное явление, которое иногда наблюдается в генераторах — прерывистая генерация. При этом явлении амплитуда колебаний генератора самопроизвольно модулируется частотой в 100 раз ниже основной. Иногда эта частота настолько нестабильна, что ее изображение не удается остановить на экране. Обычно это явление возникает при сочетании очень большого запаса возбуждения и больших постоянных времени $R_б C_б$, $R_э C_э$.

На рис. 4.21 приведена общая схема генератора стирания магнитофона, построенная по двухтактной схеме для получения симметричной формы колебаний и достаточной выходной мощности. Положительная обратная связь образуется благодаря перекрестному включению между коллекторными и базовыми цепями транзисторов двух *RC*-цепочек.

В процессе работы генератора в течение одного полупериода один транзистор отпирается, другой запирается. От вторичной обмотки трансформатора *T* питается стирающая головка. Эта цепь настраивается на максимальную отдачу напряжения конденсатором *C2*=0,08 мкФ. От этой же обмотки через конденсатор *C1*=27 пФ снимается ток подмагничивания в записывающую головку.

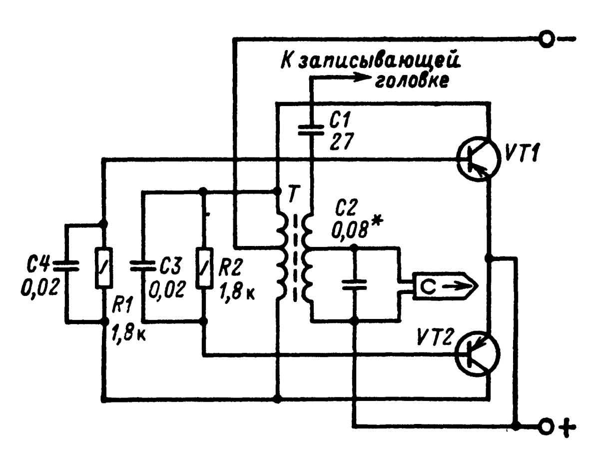


Рис. 4.21. Общая схема генератора стирания с двухтактным выходом

При налаживании генераторов стирания подмагничивания нужно иметь в виду, что кроме отдачи необходимой мощности они должны удовлетворять еще одному требованию — симметрированию формы напряжения подмагничивания. Даже небольшое отклонение от симметрии (несколько процентов) вызывает заметное повышение шума ленты. По форме синусоиды на экране однолучевого осциллографа это обнаружить не удается. Надо на двухканальном осциллографе с усилителем-коммутатором подать сигнал на оба канала и как можно точнее совместить в них изображения сигналов. Затем, заменив полярность в одном из каналов, снова сместить изображения с помощью ручки *Смещение* по X или ↔, не трогая других органов управления. Асимметрия синусоиды выявится на экране в виде размытия или двоения линии. Возможной причиной искажения формы сигнала может служить нарушение симметрии двухтактного каскада, которое может быть вызвано выводом из строя одного из транзисторов или коротким замыканием в катушке. Измерение тока стирания $i_{ст}$ и тока подмагничивания $i_{п}$ производят косвенным методом при помощи измерительных резисторов $R_{и}$, включенных последовательно с магнитными головками стирания ГС и записи ГЗ в их заземленный вывод. Схема измерения тока стирания, подмагничивания и частоты стирания приведена на рис. 4.22.

Форму тока подмагничивания проверяют в цепи стирающей головки, так как ГС и ГЗ питаются от одного и того же генератора, а ток стирания значительно больше и влияние на него измерительных цепей меньше. Осциллограф подключается к измерительному резистору. Частота колебаний должна быть порядка 45—50 кГц, т. е. при длительности развертки

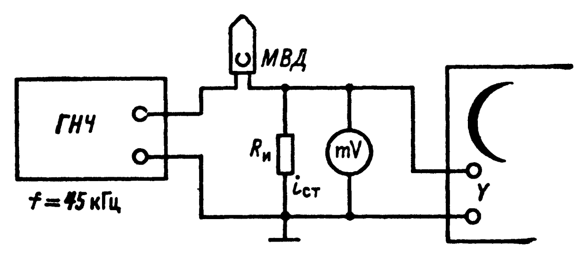


Рис. 4.22. Схема измерения тока стирания, подмагничивания и частоты стирания

0,05 мс/дел. — на экране 2—3 периода сигнала, а отклонение луча при чувствительности 0,1 В/дел. при значении измерительного резистора 1 кОм должно быть 5—6 дел., т. е. значение тока подмагничивания 0,5—0,6 мА.

4.8. ГАРМОНИЧЕСКИЕ *RC*-ГЕНЕРАТОРЫ

Существует класс транзисторных гармонических генераторов, у которых обратная связь с выхода на вход задается с помощью многозвенной фазосдвигающей цепочки. Их часто применяют, если нужно получить колебания на звуковых частотах, так как *LC*-контуры на этих частотах громоздки.

Один из генераторов звуковой частоты показан на рис. 4.23. Он представляет собой двухкаскадный усилитель с частотно-

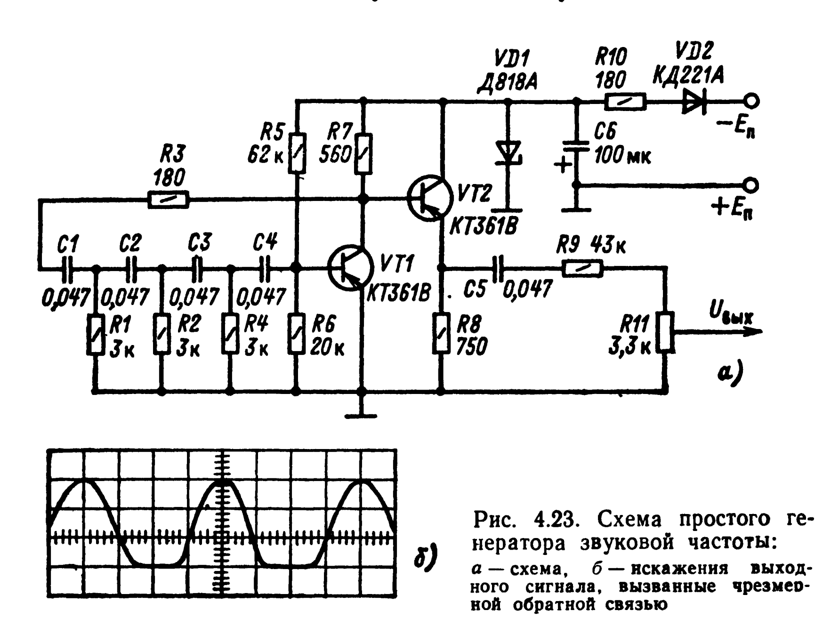


Рис. 4.23. Схема простого генератора звуковой частоты:

а — схема, *б* — искажения выходного сигнала, вызванные чрезмерной обратной связью

зависимой обратной связью. Этот генератор выпускается в наборе для изучения радиотехники в школе. Цепь обратной связи обеспечивает необходимый для самовозбуждения колебаний сдвиг фаз только на одной определенной частоте, зависящей от емкостей конденсаторов и сопротивлений резисторов, образующих эту цепь. При соответствующем выборе элементов схемы и режима работы генератора можно получить практически синусоидальные колебания, например, 1 кГц ±0,3 кГц при данных схемы. Почему берут именно эту частоту? Для характеристики звука по частоте пользуются *октавой* — основным музыкальным интервалом, соответствующим изменению частоты ровно вдвое. Поэтому для удобства изображения частотных характеристик берут ряд частот, отличающихся одна от другой на одну октаву или ее кратные доли. При этом за опорную частоту берут 1 кГц и все отсчеты ведут от нее в обе стороны — как в сторону повышения, так и в сторону понижения. При измерениях в магнитной записи за опорную принимают частоту 400 Гц, потому что все измерительные ленты с записью установочного уровня используют в качестве опорной частоты 400 Гц. Частотно-зависимая обратная связь вводится в цепь базы транзистора *VT1* из цепи его коллектора через фазосдвигающую цепочку, образуемую конденсаторами *C1—C4*, резисторами *R1*, *R2*, *R4*, *R6*, а также входным сопротивлением транзистора *VT1*. Частота генерируемых колебаний

$$f = 65 \cdot 10^3/(RC),$$

где f — частота, Гц; $R_1 = R_2 = R_3$, Ом; $C1 = C2 = C3 = C4$, мкФ.

В таких генераторах с помощью осциллографа можно определить несколько параметров: амплитуду выходного сигнала, частоту колебаний и наличие искажений формы сигнала.

На осциллограмме (рис. 4.23,*б*) приведен искаженный сигнал из-за чрезмерной обратной связи, вызванной дефектным резистором *R3*. Частоту определяют по шкале ЭЛТ. В данном случае на экране видны 2,5 периода сигнала, длительность развертки 1 мс/дел., в итоге длительность одного периода сигнала 4 мс или 250 Гц.

Общий подход при проверке генератора: подключая осциллограф к генератору, нужно учитывать влияние его входной емкости и сопротивления, применяя делитель-пробник. В некоторых случаях иногда приходится подключать осциллограф при его закрытом входе через конденсатор емкостью в несколько пикофарад.

Глава 5

ПРИМЕНЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ПРИ НАЛАЖИВАНИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

5.1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

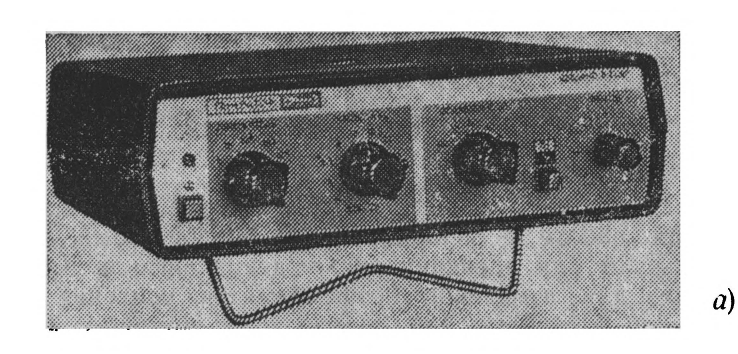
При работе с усилительными устройствами осциллограф используют для проверки прохождения сигнала по цепям усилителя, для измерения коэффициентов усиления каскадов и выходной мощности, для локализации шумящих транзисторов или других элементов схемы, а также определения случайных источников шумов, для измерения фазового сдвига, определения места возникновения паразитных искажений и для проверки переходной характеристики усилителя. Для этих измерений применяют генераторы синусоидальных и прямоугольных сигналов, а также генераторы качающейся частоты.

Полоса пропускания осциллографа, например, для проверки высококачественных систем, верхние гармоники которых доходят до 200 кГц, не может быть меньше 1 МГц. Для этой цели вполне подходят осциллографы типа «Сага» или С1-94.

Промышленностью выпускается генератор радиолюбительский низкочастотный типа ГРН-3, объединяющий генераторы синусоидальных и прямоугольных сигналов. На рис. 5.1,*а* приведен общий вид, на рис. 5.1,*б* — несколько упрощенная его схема. Генератор вырабатывает электрические сигналы синусоидальной и прямоугольной формы (меандр) в диапазоне частот от 3,15 Гц до 250 кГц, разбитом на пять поддиапазонов (×1, ×10, ×100, ×1000 и ×10 000). Каждый поддиапазон имеет одиннадцать стандартизированных фиксированных частот: 3,15; 4; 5; 6,3; 10; 12,5; 14; 16; 18; 20; 25. Максимальное выходное напряжение на нагрузке 1 кОм синусоидального сигнала не менее 5 В (среднеквадратичное значение), прямоугольного сигнала — не менее 8 В. Длительность фронта и среза меандра менее 150 нс. Коэффициент гармоник синусоидального сигнала в диапазоне от 250 Гц до 25 кГц не превышает 0,06 %, ниже этого диапазона 0,4 %, выше 0,6 %.

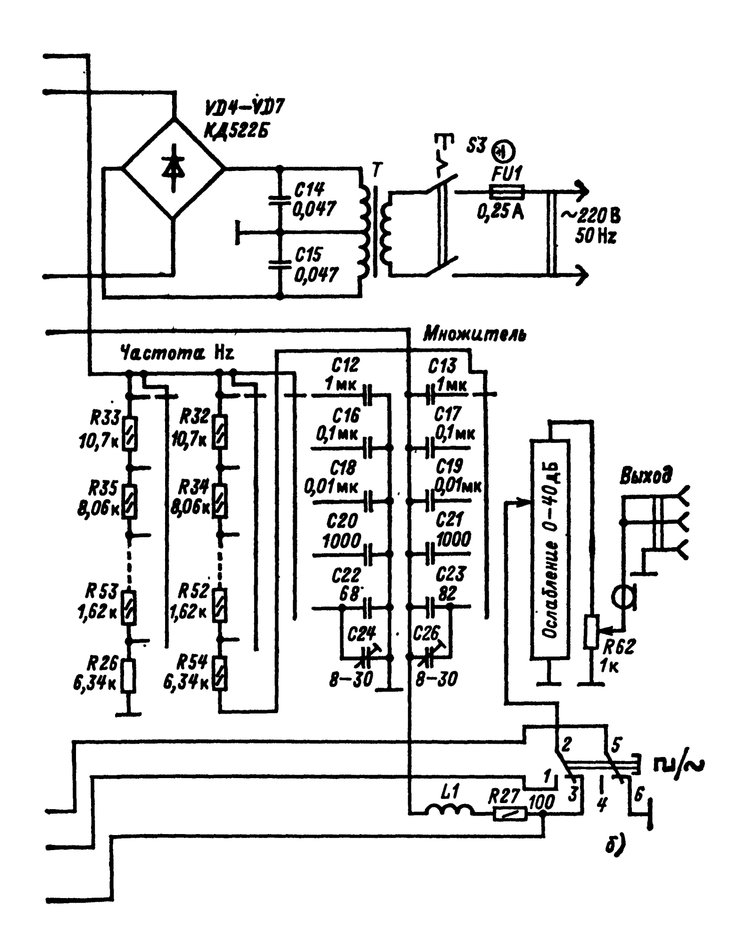
Генератор синусоидальных сигналов позволяет помимо общей оценки работоспособности усилительного устройства произвести и количественные определения его характеристик. Генератор прямоугольных сигналов совместно с осциллографом позволяет сразу судить о наличии в усилителе всех видов искажений: частотных, фазовых и амплитудных.

Частоту прямоугольного сигнала устанавливают равной или несколько ниже самой низкой частоты усилителя для проверки низкочастотной характеристики и, допустим, 2 кГц для контроля диапазона до 20 кГц. Этот метод довольно чувствителен



а)

Рис. 5.1. Внешний вид (*а*) и принципиальная схема генератора типа ГРН-3 (*б*)



к небольшим изменениям в характеристиках, легко обнаруживает фон, моторные шумы или паразитную модуляцию, позволяет легко налаживать компенсирующие цепи и проверять работу регуляторов тембра. Но проверка этим методом носит только приближенный качественный характер без определения количественных соотношений.

С помощью генератора прямоугольных импульсов можно также обнаружить неисправность в радиоприемнике, так как выходной прямоугольный импульс ГРН-3 (генератора любительского радиочастотного) и аналогичных ему генераторов содержит, как об этом ранее упоминалось, множество гармоник-сигналов с частотой, кратной основной, число которых и амплитуда тем больше, чем круче фронт и спад импульсов. Например, у прямоугольных импульсов с частотой следования 500 Гц нетрудно обнаружить 3216-ю гармонику, соответствующую крайней верхней частоте вещательного диапазона на средних волнах.

На низких частотах искажения часто появляются из-за конденсаторов связи между каскадами, иногда выходной сигнал содержит следы колебаний — результат резких изменений в частотных и фазовых характеристиках каскадов. Несимметрия положительных и отрицательных полупериодов сигнала свидетельствует о том, что усилитель работает со значительными нелинейными искажениями. Все эти явления становятся более заметными при приближении к границам полосы усилителя.

Рассмотрим несколько форм сигналов в низкочастотных усилителях с различными формами связи.

5.2. УСИЛИТЕЛИ С *RC*-СВЯЗЬЮ

Простой усилитель с *RC*-связью имеет максимальное усиление в среднечастотном диапазоне. Усиление на нижних частотах ограничивается из-за увеличения реактивного сопротивления конденсатора связи, а на высших частотах — уменьшается вследствие действия паразитных емкостей схемы и переходов транзистора, а также из-за ухудшения его параметров по мере повышения частоты.

Независимо от конкретных значений *R* и *C* и типа транзистора частотная характеристика любого усилителя с *RC*-связью будет сходна с характеристиками, приведенными на рис. 5.2 (характеристики выполнены в логарифмическом масштабе). Если два каскада с *RC*-связью соединены последовательно, то напряжение на выходе первого каскада умножается на коэффициент усиления второго. Если частотные характеристики первого и второго каскадов близки, то второй каскад как бы возводит в квадрат характеристику первого.

Частотную характеристику каскадов усилителя с *RC*-связью удобнее всего снимать с помощью генератора качающейся ча-

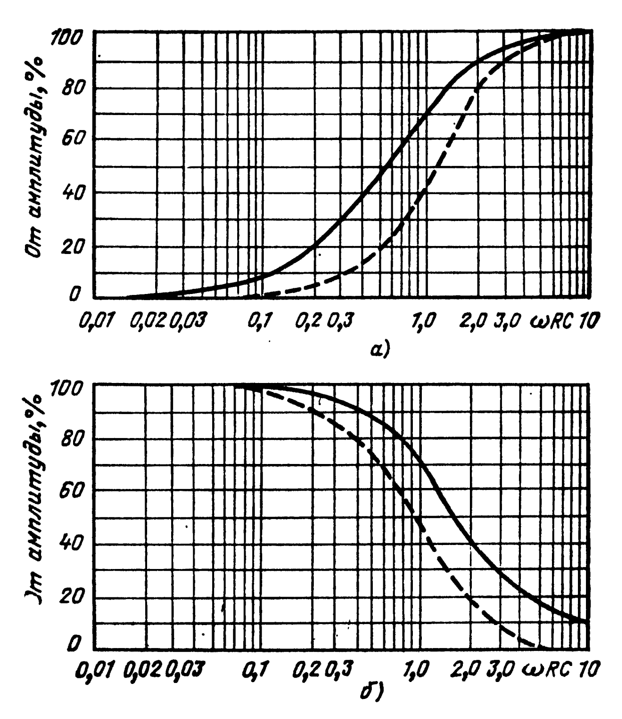


Рис. 5.2. Частотная характеристика каскада с *RC*-связью (в единицах произведения ω*RC*):

а — низкочастотная часть; *б* — высокочастотная часть; — — — — характеристика для двух одинаковых каскадов

стоты, при этом сигнал должен быть таким, чтобы заведомо исключить возможность перегрузки усилителя во всем диапазоне качания частоты. Сигнал должен по крайней мере в 20 раз превышать уровень шума, а нагрузочное сопротивление усилителя соответствовать номиналу. Генератор качающейся частоты (ГКЧ) позволяет снимать самые сложные характеристики и дает наглядный результат, однако он не всегда имеется в распоряжении.

В простейшем случае ГКЧ представляет собой генератор звуковой частоты с устройством, позволяющим плавно изменять («качать») частоту выходных синусоидальных колебаний в заданном диапазоне. Эти частоты подаются на вход проверяемого усилителя, и амплитуда выходного сигнала будет изменяться в зависимости от частоты входного в данный момент. На экране осциллографа, подключенного к нагрузке выходного каскада, можно наблюдать огибающую амплитудно-частотной характеристики усилителя. На рис. 5.3 представлена схема приставки — ГКЧ, в которой колебания высокой частоты (ВЧ) образуются

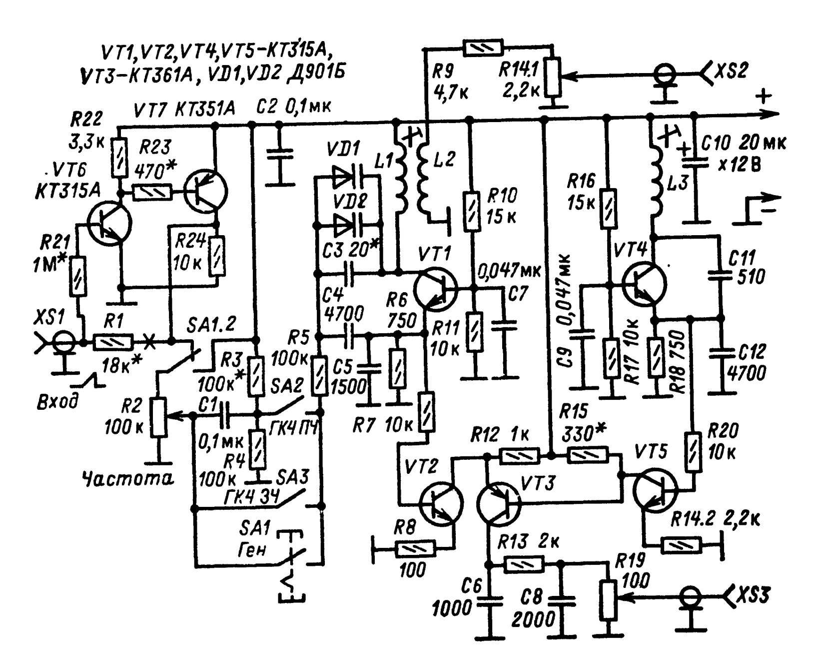


Рис. 5.3. Схема приставки генератора качающейся частоты

в результате биений сигналов двух генераторов, работающих на частотах в сотни килогерц. Частота одного из генераторов перестраивается пилообразным напряжением развертки осциллографа, а другой работает на фиксированной частоте.

Неперестраиваемый генератор на транзисторе *VT4* собран по схеме емкостной трехточки и генерирует частоту около 470 кГц, зависящую от индуктивности катушки *L3* и емкости конденсатора *C11*. Колебания возникают из-за положительной обратной связи между эмиттерной и базовой цепями транзистора, образуемой делителем напряжения: конденсаторами *C11* и *C12*.

С эмиттерной нагрузки *R18* синусоидальные сигналы поступают на развязывающий каскад транзистора на *VT5*, а с его коллекторной нагрузки *R15* — на смеситель, собранный на транзисторе *VT3*. На этот же смеситель поступают сигналы от перестраиваемого генератора, выполненного на транзисторе *VT1*, также по схеме емкостной трехточки. Частота колебаний этого генератора зависит от индуктивности катушки *L1* и емкости цепочки, включенной между выводами коллектора и эмиттера транзистора. Цепочка составлена из параллельно включенных конденсатора *C3*, варикапов *VD1*, *VD2* и последовательно с ними включенного конденсатора *C4*. Изменяется частота после

подачи на аноды варикапов постоянного напряжения положительной полярности. При нажатии кнопки *SA1.1* (генерирование частоты) на аноды *VD1* и *VD2* с движка переменного резистора *R2* подается напряжение. При изменении постоянного напряжения от 0 до 9 В частота колебаний генератора меняется примерно от 455 до 475 кГц. Эти колебания с катушки связи *L2* поступают на делитель напряжения *R9*, *R14.1* и с него на *Выход ПЧ*. С этого разъема сигнал может подаваться на усилитель ПЧ радиоприемника. При проверке тракта ПЧ нажимают кнопку *SA2* (*ГКЧ ПЧ*). В этом случае на варикапы поступает фиксированное постоянное напряжение с делителя *R3*, *R4*, устанавливающее частоту генератора 465 кГц, и пилообразное, подаваемое через конденсатор *C1* с движка переменного резистора *R2*, изменяющее ее в обе стороны максимум на 10 кГц.

Усилитель низкой частоты (НЧ) проверяется сигналами с выхода генератора. На нагрузке смесителя (резисторы *R13*, *R19*) выделяются колебания разностной частоты от 500 Гц до 20 кГц. Для получения качающейся частоты колебаний ЗЧ нажимают кнопку *ГКЧ ЗЧ*. При этом кнопка *SA1* отпускается, а на верхний вывод резистора *R2* с разъема *XS1* подается пилообразное напряжение развертки с осциллографа. Напряжение должно быть возрастающим, чтобы АЧХ соответствовала общепринятому начертанию — нижние частоты слева, высшие — справа. В малогабаритных осциллографах типа «Сага», С1-94 и др. амплитуда выходного пилообразного напряжения меньше 9 В (порядка 4 В), поэтому если полосу качания можно уменьшить до 15—13 кГц, что достаточно для снятия АЧХ многих моно- и стереофонических усилителей невысокого класса, то можно изъять резистор *R1* и подавать напряжение пилы на разъем *XS1*, соединенный с выводом резистора *R2*.

Для исследования более качественных усилителей в схему вводится двухкаскадный усилитель на транзисторах *VT6*, *VT7* и включается вместо ограничительного резистора *R1*. Второй транзистор ставится для получения нужной полярности сигнала (например, в «Саге» выходное пилообразное напряжение положительное, в С1-94 — отрицательное и после каскада усиления полярность изменяется).

Схема включения осциллографа проверки усилителя с *RC*-связью с помощью генератора прямоугольных сигналов ГПС показана на рис. 5.4. Работу надо вести при номинальной выходной мощности, заведомо меньшей максимальной. Измерив значение напряжения изображенного на экране прямоугольного сигнала, вычислим мощность $P=E^2/R_н$, где E — значение измеренного напряжения; $R_н$ — сопротивление нагрузки. Затем определим верхнюю граничную частоту характеристики по измеренному времени нарастания выходного сигнала между уровнями 0,1 и 0,9 амплитудного значения: $f_{верх}=0{,}35/\tau_{нар}$.

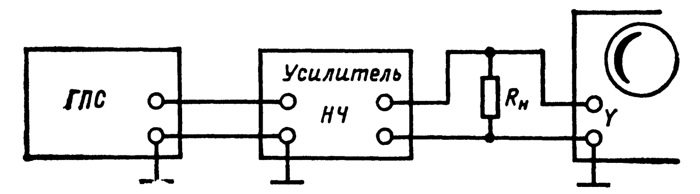


Рис. 5.4. Схема проверки усилителя генератором прямоугольных сигналов

Если время нарастания измерено в миллисекундах, то $f_{верх}$ будет в килогерцах. Эта формула приближенная, но определенная по ней $f_{верх}$ очень близка к полученной при снятии частотной характеристики с помощью звукового генератора, но только определяется в этом случае намного быстрее.

Осциллограммы для определения частотной характеристики усилителя в области низких частот представлены на рис. 5.5. Для этого уменьшаем частоту следования сигнала, пока на изображении его вершины не покажется явный спад. На рисунке частота следования прямоугольного сигнала составляла 20 Гц. Нижняя предельная частота усилителя

$$f_н = 4\pi f_с \ln (E_2/E_1),$$

где $f_с$ — частота следования прямоугольного сигнала; E_2 и E_1 — значение переднего фронта и среза импульса, определенные непосредственно по шкале осциллографа.

В определенной степени частотную характеристику в области низких частот можно несколько скорректировать, включив последовательно с сопротивлением нагрузки корректирующий резистор и конденсатор C_1. Соответствующим их подбором можно несколько улучшить форму сигнала (рис. 5.6).

Искажения импульсов и частотная характеристика. На осциллограммах рис. 5.7 представлены подаваемый на УНЧ прямоугольный сигнал и его изображение на выходе усилителя при

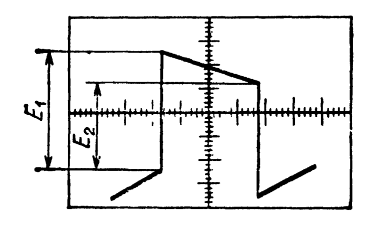


Рис. 5.5. Определение низкочастотных характеристик усилителей

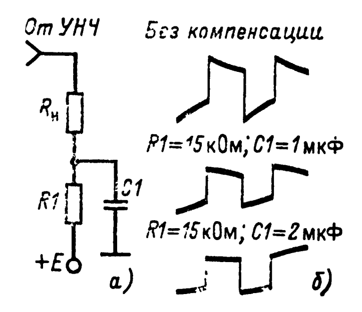


Рис. 5.6. Коррекция низкочастотных искажений:

а — схема коррекции; *б* — примеры форм передачи сигнала при различных параметрах элементов корректирующей цепи

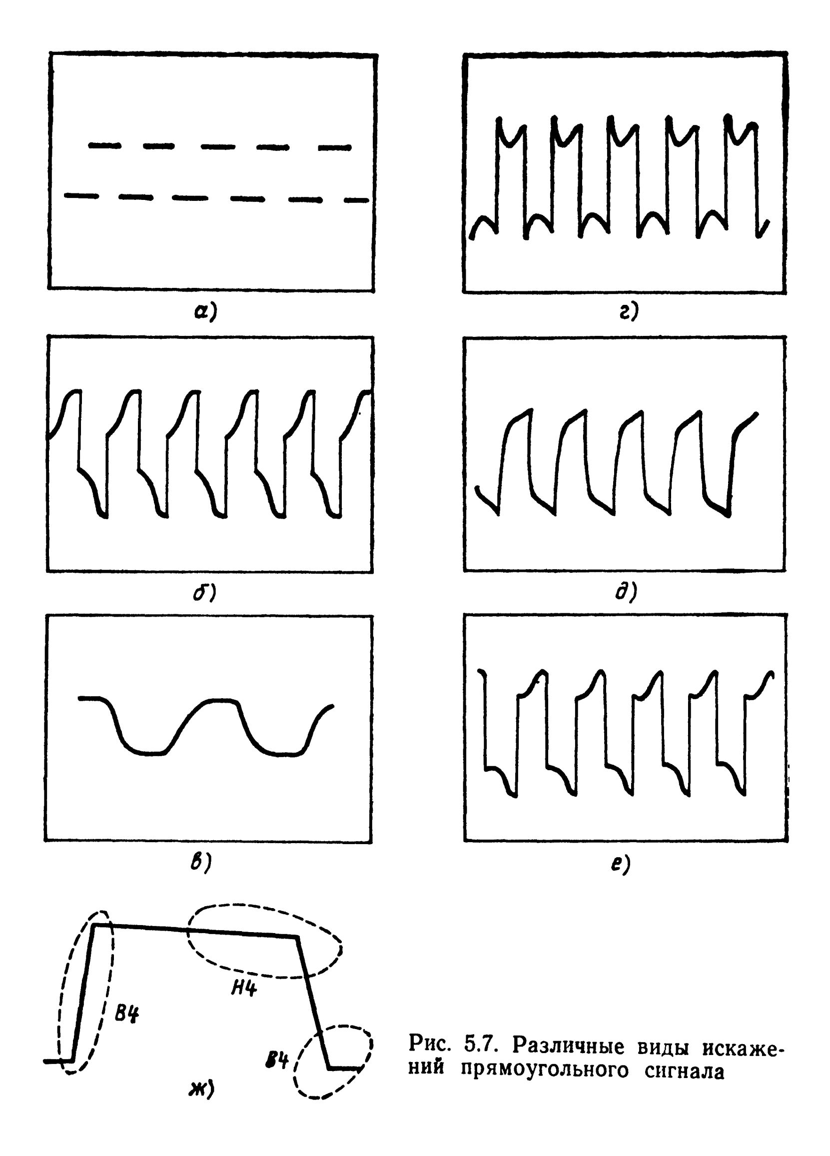


Рис. 5.7. Различные виды искажений прямоугольного сигнала

различных искажениях частотной характеристики, где *а* — входной сигнал — меандр 1 кГц; *б* — резкий спад усиления на НЧ и ограничение амплитуды; *в* — уменьшение усиления на верхних частотах; *г* — вогнутая вершина, уменьшение усиления на средних частотах, уменьшение усиления на низких частотах, без фазового сдвига (этот вид искажений может быть вызван, в частности, неправильным подбором *C1* и *R1* в цепи низкочастотной компенсации); *д* — вогнутая вершина со спадом —

уменьшение усиления на низких частотах с опережающим фазовым сдвигом и некоторое уменьшение на верхнем участке; *е* — подъем средних частот; *ж* — показано, какая часть прямоугольного сигнала несет информацию о воспроизведении низкочастотных (НЧ) и высокочастотных (ВЧ) составляющих.

Прямоугольные импульсы применяют также для настройки широкополосных делителей напряжения (см. рис. 2.14). В этом случае осциллограммы полностью определяют частотные характеристики делителей.

5.3. КАСКАДЫ УСИЛЕНИЯ С ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СВЯЗЬЮ

Каскады усиления с трансформаторной связью применяют во многих радиоустройствах. Трансформаторная связь обладает рядом достоинств. Низкое сопротивление в цепях баз облегчает температурную стабилизацию рабочей точки по постоянному току. Поскольку в цепи коллектора нагрузка по постоянному току отсутствует, то эффективность использования напряжения питания высокая, а КПД приближается к теоретическому (50 %). По этой причине транзисторные усилители с трансформаторной связью широко используют в портативных приемниках и других устройствах, питающихся от батарей.

Трансформатор согласует выходное реактивное сопротивление задающего каскада со входным реактивным сопротивлением базовой цепи возбуждаемого каскада, что позволяет получить максимальное усиление. Однако при трансформаторной связи частотная характеристика получается хуже, чем правильно рассчитанного *RC*-каскада, потому что шунтирующая индуктивность первичной обмотки вызывает большое падение усиления на низших частотах. В области высших частот падение усиления вызывается паразитными емкостями и индуктивностями рассеяния обмотки. Эта емкость между витками шунтирует индуктивности обмоток, вызывая резонансы и, следовательно, неравномерности в широкой полосе частот. В результате резонансов «ненастроенного» трансформатора частотная характеристика может получить подъем в области высших частот, как показано на рис. 5.8.

Такой подъем характеристики иногда улучшает воспроизведение в определенной полосе частот, например от 1000 до 7500 Гц. Но обычно эта неравномерность вызывает искажения. Изменение сопротивления нагрузки трансформатора меняет вид его частотной характеристики. Если вторичную обмотку шунтировать достаточно малым сопротивлением, то действие распределенных емкостей будет резко уменьшено и частотная характеристика станет сравнительно плоской, но это одновременно вызовет понижение верхней частоты пропускания.

С помощью осциллографа можно просто определить характеристики низкочастотного трансформатора. Типичная схема испытания приведена на рис. 5.9,*а*.

Первичная обмотка демпфирована сопротивлением около 10 кОм, вторичная нагружена емкостью пробника (порядка

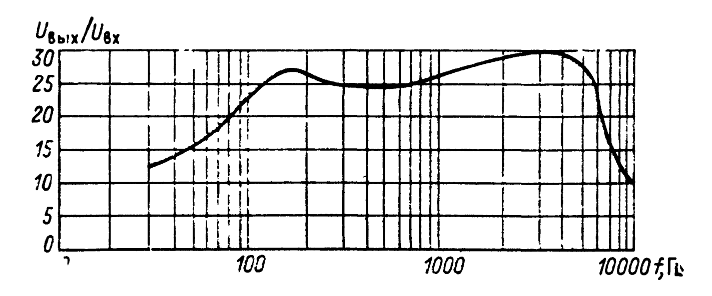


Рис. 5.8. Частотная характеристика транзисторного усилителя с трансформаторной связью

10 пФ). Как видно из рис. 5.9,*б*, форма сигнала сильно искажена. Если вторичную обмотку шунтировать сопротивлением 100 Ом, то вершина воспроизводимого прямоугольного сигнала становится значительно более плоской. Однако на ней появляются «пички» из-за звона на высших частотах.

Увеличение демпфирующего сопротивления первичной обмотки вызывает заметное интегрирование воспроизведенного на экране прямоугольного сигнала, уменьшение его способствует увеличению амплитуды звона. В этой же измерительной схеме трансформатор другого типа может дать совершенно иные изображения, т. е. трансформатор, обеспечивающий хорошую частотную и переходную характеристики в одном усилителе, может вызвать чрезмерные искажения в другом. Ниже приводится методика отыскания неисправностей с помощью звукового генератора и осциллографа в усилителе с трансформаторной связью в варианте довольно широко применяемой схемы, входящей и в малогабаритные приемники, и в проигрыватели.

На выход усилителя вместо динамика включается нагрузочный резистор соответствующей мощности. Конечно, возможно подключение щупа и к самому динамику, но это вызывает излишний шум и фоновые помехи. Генератор ГРН-3 вполне обеспечивает все характеристики входного сигнала: 1 В для работы усилителя с обычным звукоснимателем; 0,1 В для рабо-

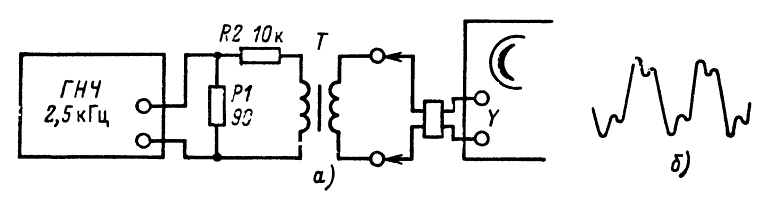


Рис. 5.9. Испытание выходного трансформатора УНЧ с помощью генератора прямоугольного сигнала:
а — схема; *б* — воспроизведение сигнала 2,5 кГц

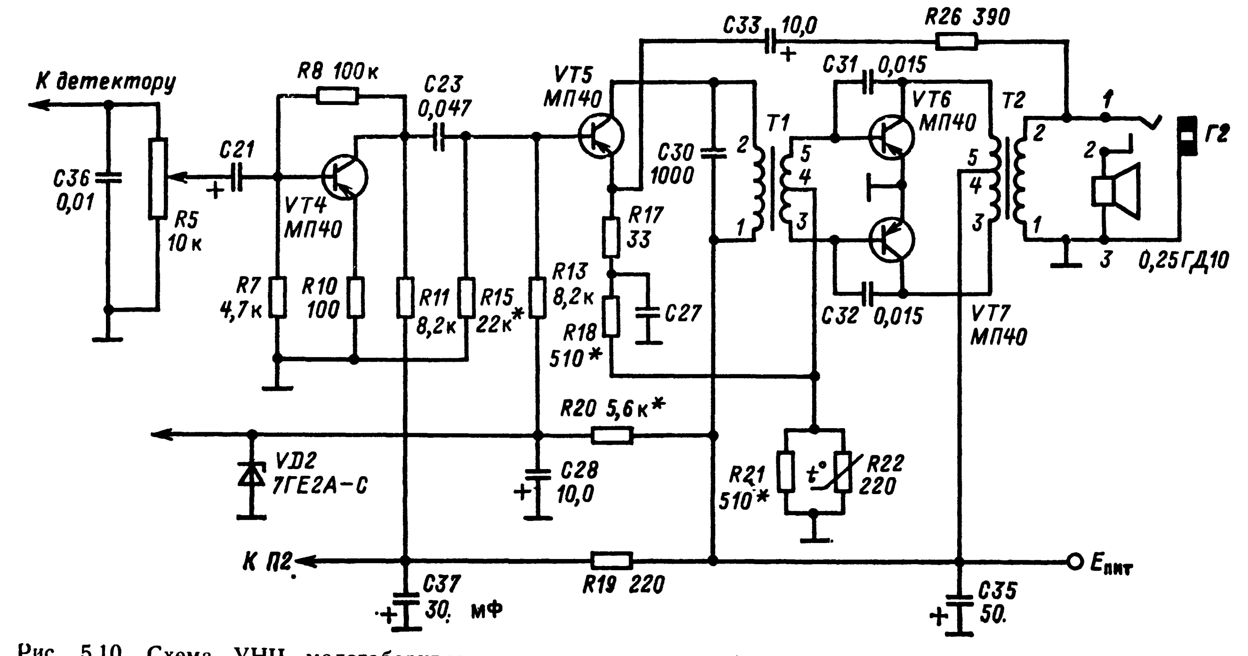


Рис. 5.10. Схема УНЧ малогабаритного приемника с трансформаторной связью

ты микрофоном; до 0,05 В (т. е. 40 дБ) для работы с различными низкочастотными устройствами.

На рис. 5.10 показана схема трехкаскадного усилителя с *RC*- и трансформаторной связью. Первый каскад — предварительный усилитель собран по схеме с общим эмиттером и нагрузкой *R11* в цепи коллектора. В эмиттер *VT4* включен стабилизирующий резистор *R10*, увеличивающий входное сопротивление каскада (он является нагрузкой детектора по низкой частоте), повышая тем самым коэффициент передачи детектора. Для уменьшения искажений сигнала из цепи коллектора в цепь базы подается отрицательная обратная связь через *R8*. Второй каскад выполнен на *VT5* (МП40), нагрузкой служит согласующий трансформатор *T1*. Выходной каскад НЧ — двухконтактный, собранный на транзисторах *VT6* и *VT7* (МП40) по трансформаторной схеме. Нагрузкой выходного каскада является выходной трансформатор *T2*, во вторичную обмотку которого включен громкоговоритель типа 0,25 ГД10.

Напряжения смещения на базы транзисторов *VT6* и *VT7* снимаются с делителя на резисторах *R17* и *R18*, включенных в цепь эмиттера *VT5*. Это позволило получить относительно малый ток покоя. Два последних каскада УНЧ охвачены отрицательной обратной связью через цепочку *R26* и *C33*. Конденсаторы *C31* и *C32* корректируют частотную характеристику и устраняют фазовый сдвиг в области верхних частот.

Термистор *R22* с параллельно подключенным резистором *R21* обеспечивает температурную стабилизацию выходного каскада УНЧ. Для устранения паразитных колебаний первичная обмотка согласующего трансформатора зашунтирована конденсатором *C30*.

В схему приемника введен стабилизатор напряжения на стабисторе *VD2* (7ГЕ2А-С), имеющем опорное напряжение —1,5 В, что исключает искажения типа «ступенька» при снижении напряжения питания. Стабилизация рабочей точки транзисторов выходного каскада УНЧ обеспечивается тем, что напряжение смещения на базы *VT6* и *VT7* создается током эмиттера *VT5*, стабилизированного по напряжению питания.

Осциллограммы сигналов при подаче на вход такого усилителя сигналов от низкочастотного генератора приведены в табл. 1.

Измерение резонансной частоты динамической головки. Любая динамическая головка обладает своей резонансной частотой, которую необходимо знать при изготовлении акустической системы, чтобы согласовать динамическую головку с акустическим объемом корпуса. Осциллограф, динамическая головка и генератор звуковой частоты (ГНЧ), желательно с большой выходной мощностью (не менее 2 Вт), соединяют так, как показано на рис. 5.11,*а*.

Выходной сигнал с ГНЧ поступает на цепочку из последовательно соединенных резисторов *R* и динамической головки *ДГ*. Входной щуп *Y* осциллографа подключен параллельно *ДГ*,

Таблица 1

Форма сигнала на экране ЭЛТ	Возможные причины	Устранение дефекта
	Возбуждается УНЧ. При выведенном регуляторе громкости на выходе прослушивается мощный сигнал 200—300 Гц	Проверить сопротивления в цепи обратной связи *R26*, *R17*, *R10* и конденсатор *C33*. Неисправные заменить
	Неправильно распаяны обмотки в одном из трансформаторов	Отпаять конец резистора *R26* или конденсатора *C33*, и если возбуждение прекратится, то поочередно заменить *T1* и *T2*
	Усилитель возбуждается на частоте 10—12 кГц при подаче на вход сигнала от ГНЧ	Несоответствие номиналов заданным в цепочке обратной связи *R26*, *C33*. Закорочены резисторы *R21*, *R22*. Проверить наличие замыканий в печатной плате
	Сигнал — искаженная полусинусоида	Замыкание резистора *R18* или конденсатора *C27*
	Усилитель возбуждается на частоте 10—12 кГц при подаче на вход сигнала от ГНЧ	Неисправен конденсатор *C31* или *C32*. Проверить качество паек. Параллельно каждому конденсатору подпаять заведомо исправный того же номинала. При исчезновении возбуждения — конденсатор заменить. Коэффициент трансформации переходного трансформатора не соответствует норме. Проверить сопротивление обмотки, при несоответствии норме — заменить
	Форма выходного напряжения имеет вид половины синусоиды	Плохая пайка транзистора *VT6* или *VT7*. Обрыв или короткое замыкание в обмотках переходного или выходного трансформаторов. Отпаять провод от средней точки первой обмотки выходного трансформатора и проверить омметром сопротивление обеих секций. Проверить режимы по переменному току на базах *VT6* и *VT7*. Проверить исправность печатной платы

Форма сигнала на экране ЭЛТ	Возможные причины	Устранение дефекта
	Ограничение выходного напряжения наступает при выходном напряжении менее 1 В. Чувствительность УНЧ выше нормы	Несимметрично подобраны транзисторы выходного каскада. Проверить при максимальном неискаженном сигнале на выходе напряжение переменного тока на коллекторах *VT6* и *VT7*. Если напряжения несимметричны, то проверить исправность выходного трансформатора. Если он исправен — сменить транзисторы на попарно подобранные

а «земляное» гнездо (или зажим) генератора соединено с гнездом *Вход X* осциллографа. Такое подключение осциллографа позволяет наблюдать фазовый сдвиг между током и напряжением в цепи звуковой катушки головки и фиксировать момент резонанса.

Сопротивление резистора *R* должно быть в 20—30 раз больше сопротивления звуковой катушки, чтобы амплитуда тока в цепи катушки оставалась постоянной, тогда наряду с фазой и частотой резонанса можно определить амплитуду напряжения на катушке головки.

Осциллограф работает в автоматическом режиме с разверткой от внешнего сигнала. Выходной сигнал генератора и чувствительность осциллографа устанавливают такими, чтобы при частоте генератора 200—500 Гц на экране осциллографа был виден эллипс (рис. 5.11,*б*) с наклоном к линии развертки примерно в 45°. Затем перестраивают частоту генератора в сторону нижних частот до получения прямой линии (рис. 5.11,*в*). Получившаяся при этом частота генератора будет соответствовать резонансной частоте динамической головки.

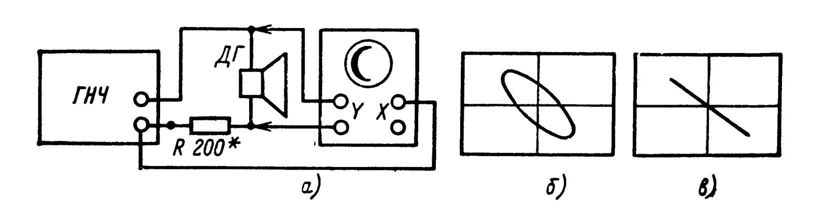


Рис. 5.11. Измерение резонансной частоты динамической головки

5.4. АНАЛИЗ СИГНАЛОВ В РЕЗОНАНСНЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

Транзисторные усилители с контурами последовательного или параллельного резонанса используются в вещательных или телевизионных приемниках, а также в других радиотехнических устройствах. Действие резонансного контура основано на реактивных характеристиках последовательной и параллельной *LCR*-цепей.

Контур с последовательным резонансом. Контур на рис. 5.12,*а* имеет частотную характеристику, показанную на рис. 5.12,*б*. На экране осциллографа получается зависимость напряжения контура от частоты. Пик напряжения образуется на резонансной частоте $f_0=1/(2\pi\sqrt{LC})$. Поскольку индуктивное и емкостное сопротивления на резонансной частоте взаимно уничтожаются, сопротивление со стороны входа будет чисто активным. Полоса пропускания такой цепи определяется разницей между верхней и нижней частотами, напряжение на которых падает до 0,707 максимального, т. е. мощность уменьшается в 2 раза.

Контур с параллельным резонансом. Контур на рис. 5.13,*а* имеет частоту резонанса, приближенно равную f_0. Как видно на экране осциллографа с ГКЧ (рис. 5.13,*б*), характеристики прохождения тока через индуктивность, конденсатор, а также форма напряжения на конденсаторе примерно одинаковы. Ток генератора $I_{вх}$ имеет «перевернутую» характеристику. На схеме резистор *R* представляет собой сопротивление источника, эквивалентное выходному сопротивлению коллектора транзистора в реальной схеме. В момент резонанса ток, проходящий между *L* и *C*, в *Q* раз больше тока генератора. Это свойство контура называется *усилением по току* и аналогично свойству усиления напряжения контура с последовательным резонансом.

При подаче в резонансный контур (рис. 5.14,*а*) прямоугольного сигнала на экране осциллографа будет виден затухающий сигнал (рис. 5.14,*б*). Для измерения *Q* контура по затухающему сигналу исследуют процентное отношение между последовательными амплитудами сигнала. Предположим, что каждый второй период затухающих колебаний составляет 90 % по отношению к предыдущему. В данном примере сигнал уменьшается

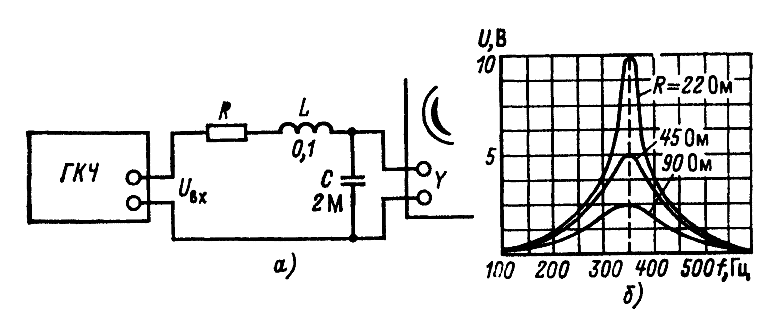


Рис. 5.12. Снятие частотной характеристики цепи с последовательным резонансом

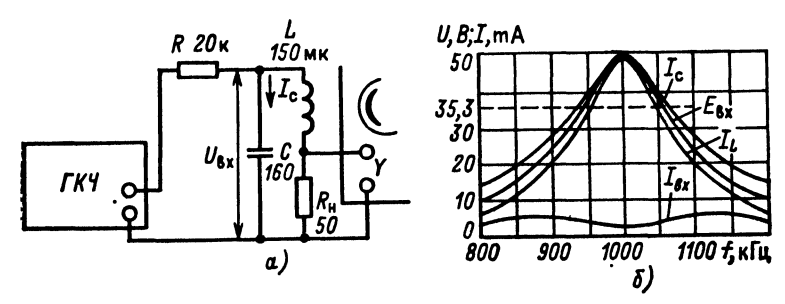


Рис. 5.13. Схема проверки *LCR*-контура с параллельным резонансом

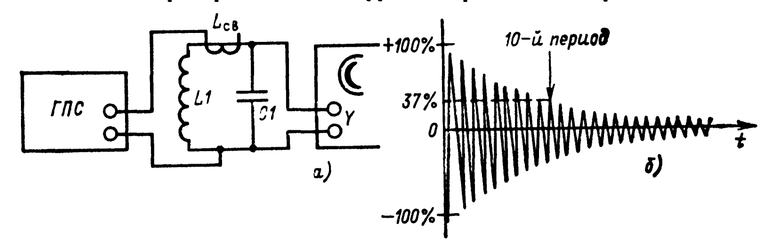


Рис. 5.14. Измерение добротности *LC*-контура

на 37 % за 10 периодов, таким образом, $Q=31{,}4$. Если бы амплитуда упала до 37 % за 15 периодов, $Q=47{,}1$ и т. д.

Системы связанных контуров. Системы представляют собой контуры со взаимной индуктивностью. Первичный контур работает, как цепь с параллельным резонансом, вторичный — с последовательным. Если и первичный и вторичный контуры имеют одинаковую добротность (как это обычно бывает) и настроены на одну частоту, то выходное напряжение вторичной обмотки будет иметь частотную характеристику, ширина которой зависит от степени связи. В резонансном трансформаторе первичная и вторичная обмотки имеют одинаковую индуктивность ($L=L1=L2$) и добротность и настроены на одну и ту же частоту (рис. 5.15,*а*). В этом случае максимально возможное значение взаимной индукции может достигать $L_{макс}=0{,}8L$. Такая связь применяется для обеспечения большой полосы пропускания усилителя в широкополосных усилителях промежуточной частоты (УПЧ). При коэффициенте связи большем единицы имеются две резонансные частоты, соответствующие двум горбам характеристики, поэтому при испытании прямоугольным сигналом

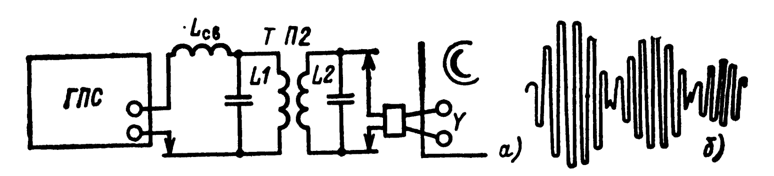


Рис. 5.15. Проверка двух связанных контуров (трансформатора ПЧ)

(рис. 5.15,*а*) они дают биения (рис. 5.15,*б*). Если первичная и вторичная обмотки настроены на одну частоту, то сигнал биений периодически проходит через нуль. Биения экспоненциально затухают из-за потерь в обмотках.

5.5. УСИЛИТЕЛИ С НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ СВЯЗЬЮ

Усилители с непосредственной связью широко используются в транзисторных устройствах и предназначены для усиления как постоянного тока и низкочастотных сигналов, так и высокочастотных сигналов. В схемах таких усилителей отсутствуют конденсаторы и трансформаторы связи. Однако для них серьезную проблему представляет температурная стабилизация.

На рис. 5.16 приведена схема двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности, выполненного на транзисторах разной структуры. На входе установлен высокочастотный транзистор *VT1*, выбранный из условия получения наибольшей чувствительности усилителя и наименьших собственных шумов. Для предотвращения искажений типа «ступенька» между базами транзисторов *VT2* и *VT3* фазоинверсионного каскада включен диод *VD*, благодаря чему на базах образуется напряжение смещения. При напряжении питания 9 В напряжение на средней точке (левый по схеме вывод конденсатора *C2*) устанавливают подбором резистора *R1* (4,5 В).

На вход усилителя от ГНЧ подают напряжение порядка 0,1 В, а на выход усилителя вместо динамика ставят эквивалент — резистор сопротивлением 6 Ом и мощностью не менее 2 Вт. При этом измеряют максимальный размах неискаженных синусоидальных колебаний. Он достигает 5 В, что значит — выходная мощность достигает почти 0,53 Вт.

На рис. 5.17 показана методика проверки наличия амплитудных искажений. Входной щуп осциллографа подключается ко входу усилителя, а гнездо горизонтального входа соединяется

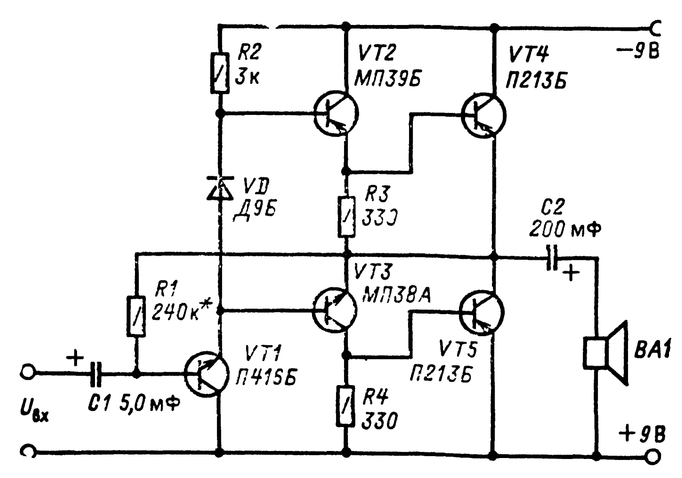


Рис. 5.16. Схема бестрансформаторного двухконтактного усилителя мощности

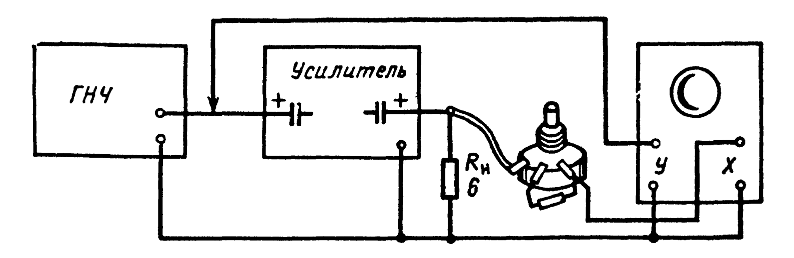


Рис. 5.17. Схема проверки наличия амплитудных искажений

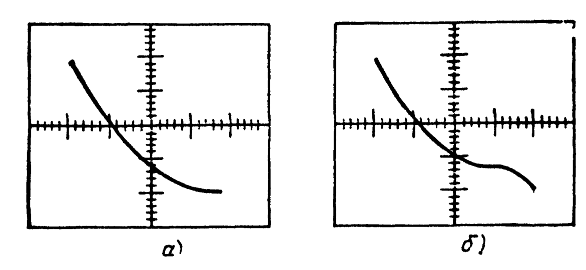


Рис. 5.18. Формы сигналов, свидетельствующих о наличии амплитудных искажений

с эквивалентом нагрузки. Сигнал на входе *X* должен быть таким, чтобы длина линий по горизонтали и вертикали была одинакова (для этого подбора можно включить переменный резистор 68—100 кОм). На экране появится прямая наклонная линия. При увеличении входного сигнала усилителя линия начнет прогибаться (рис. 5.18,*а*), а потом на одном ее конце появится загиб (рис. 5.18,*б*). При переключении входа осциллографа на нагрузочный резистор и включении внутренней развертки на экране появится сигнал с большими амплитудными искажениями (см. рис. 4.23,*б*). Момент появления амплитудных искажений определяется по началу искривления прямой линии (рис. 5.18,*а*).

5.6. АНАЛИЗ СИГНАЛОВ В ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Согласование входных и выходных сопротивлений. Входные сопротивления усилителей низкой частоты могут в значительной степени различаться; например, каскад, к которому подключен пьезоэлектрический звукосниматель, должен иметь входное сопротивление около 2 МОм, в то время как входное сопротивление каскада, рассчитанного на подключение магнитного звукоснимателя, несколько килоом. Сопротивление входных каскадов радиоприемников имеет порядок сотен килоом, в то время

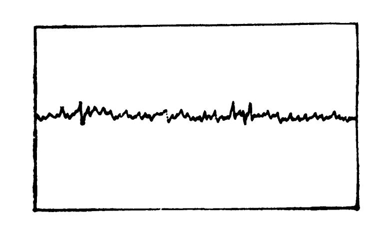


Рис. 5.19. Хаотический вид внутренних шумов усилителя

как у микрофонных усилителей входные сопротивления от 15 до 600 Ом.

Для согласования входных и выходных сопротивлений, проверяемых приборов и подключаемых к ним измерительных приборов применяют метод параллельного или последовательного подключения активных и реактивных сопротивлений. Такая схема всегда представляет собой аттенюатор, т. е. уровень сигнала, поступающего на вход усилителя, будет меньше уровня сигнала на выходе генератора.

Однако при правильном согласовании достигается уменьшение уровня шумов и наибольший коэффициент передачи по мощности. Неправильное согласование влечет за собой изменение характеристик схемы и может вызвать перегрузку или неустойчивую работу усилителя.

Если нужно выход генератора сопротивлением 75 Ом соединить со входом каскада, рассчитанного на входное сопротивление 5 кОм, то для того, чтобы режим измерений был близок к реальному, между генератором и входом каскада надо включить последовательно резистор 5 кОм и, кроме того, соответствующий нагрузочный резистор поставить на выход генератора. Естественно, что при таком включении происходит потеря некоторой доли входного сигнала, поэтому необходим генератор, вырабатывающий сигнал больше того, который должен быть подан на вход схемы.

Уровень фона и внутренние шумы. В высококачественных усилителях измеряют уровень фона и внутренние шумы. В этих случаях переключают осциллограф на максимальную чувствительность, соединяют его с выходом усилителя, вход которого разомкнут, а усиление — максимально. Усиление осциллографа увеличивается до тех пор, пока на экране не возникнет хаотическая картина шумов (рис. 5.19). Для отделения от общей совокупности помех составляющей фона надо привести запуск развертки в положение ОТ СЕТИ.

В ряде случаев необходимо проверять потенциометры, так как возникающий треск в высококачественных приборах совершенно недопустим. Для этого на выводы потенциометра подается от батареи небольшое напряжение 1—5 В, а движок потенциометра и земляной вывод подключают к осциллографу на

вход *У*. Если потенциометр плохой, то при вращении его оси на экране ЭЛТ вместо ровной линии развертки появляется характерное изображение «леса» шумов (примерно как на рисунке), возникающее при каком-либо определенном положении движка или только при его движении. Частота развертки осциллографа не критична — она может быть 200—1000 Гц. Так как при вращении движка потенциометра будет меняться уровень входного напряжения, то осциллограф лучше включить на закрытый вход, чтобы изображение не смещалось в вертикальном направлении по экрану. Помимо потенциометров и транзисторов источником шума могут оказаться и резисторы, используемые в схемах первых каскадов. Шумовой сигнал может также попасть в первые каскады от источников питания, тогда надо отсоединить первые каскады от общей цепи питания и проверить их на свежей батарее.

5.7. НАЛАЖИВАНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ И СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Высококачественные усилители низкой частоты имеют частотную характеристику до 20 кГц, а некоторые — до 50 кГц и более, поэтому диапазон звуковых генераторов, применяемых для их проверки, должен быть еще шире, практически очень важно проверить частотную характеристику усилителя при номинальной выходной мощности. Выход (в ваттах) определяется (ранее об этом было сказано) как квадрат выходного напряжения, разделенного на сопротивление нагрузки. При измерениях частотной характеристики регуляторы тембра ВЧ и НЧ должны быть поставлены в среднее положение, они при этом обеспечивают плоскую, без выбросов характеристику. Также должны быть выключены все фильтры низких и высоких частот, если они вмонтированы в устройство, и автоматическая частотная компенсация при регулировке усиления. После того как определена чистая характеристика усилителя, все эти органы управления вновь включаются в работу.

Упрощенные формы сигналов при наличии частотных, амплитудных и фазовых искажений были показаны на рис. 5.7.

Высокочастотные искажения заключаются в том, что ограниченная полоса частот устраняет высокочастотные слагающие входного сигнала. С другой стороны, *низкочастотные искажения* происходят всегда, когда основная частота входного сигнала уменьшена или даже устранена. *Фазовые искажения* появляются вследствие нелинейного фазового сдвига; например, ВЧ-составляющие сигнала могут задерживаться в канале больше, чем НЧ-составляющие, без какого-либо изменения их амплитуд. В результате изменяется форма выходного сигнала. *Амплитудные (гармонические) искажения* возникают из-за не-

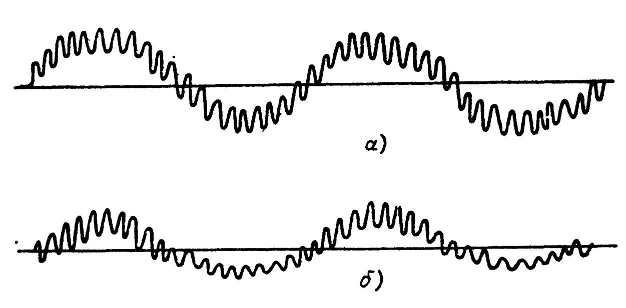


Рис. 5.20. Пример интермодуляционных искажений на входе (*а*) и на выходе (*б*)

линейности усиления, что вызывает ограничения части сигнала. Этот вид искажений всегда связан с созданием дополнительных гармонических составляющих в выходном сигнале (обо всех этих видах искажений упоминалось ранее).

В двухтоновом сигнале могут также присутствовать и интермодуляционные искажения (рис. 5.20), также создающие гармонические искажения по отношению к сигналу одной частоты. Характеристики искажений в значительной степени зависят от частоты испытательного сигнала. Фазовые искажения возникают всегда на низкой и высокой частотах пределов полосы пропускания усилителя, потому что в этих точках происходит резкое увеличение нелинейности характеристики (рис. 5.21).

Если на вход усилителя подается чистый синусоидальный сигнал, а в выходном сигнале появляется вторая гармоника и по амплитуде составляет 5 % от основной, то говорят, что усилитель создает гармонические искажения 5 %. Однако последовательное прохождение по схеме для обнаружения источника искажений может и не явиться определяющим фактором, если имеется отрицательная обратная связь, которая скрадывает это место. Ее действие резко падает на нижней и верхней точках

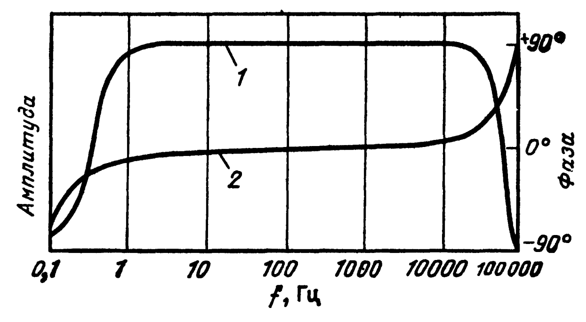


Рис. 5.21. Зависимость амплитудной и фазовой характеристик высококачественного усилителя от частоты

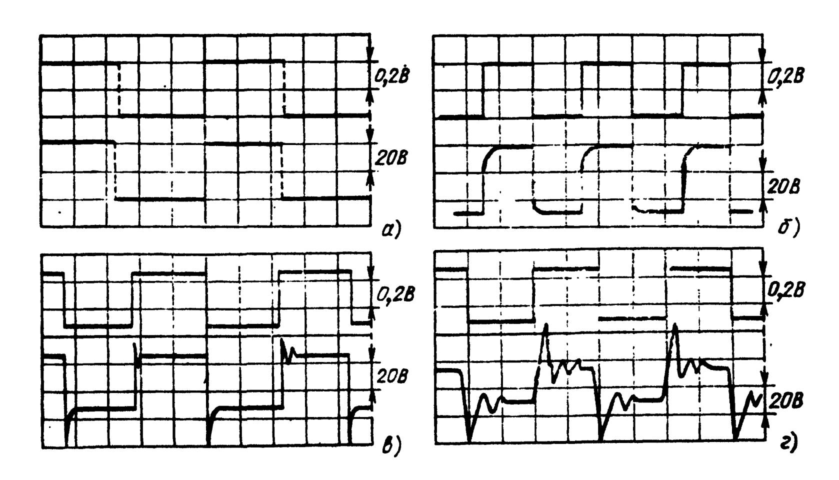


Рис. 5.22. Осциллограммы на входе и выходе усилителя при активной и комплексной нагрузке ($U_{вх}$=0,2 В/дел.; $U_{вых}$=20 В/дел.):
а — f=20 Гц; б, в — f=10 кГц; г — f=1 кГц

среза полосы. Здесь также возрастают и нелинейные искажения.

Нелинейные искажения обычно измеряют при максимальной выходной мощности усилителя. Осциллограф служит для определения порядка возникающих искажений, в основном второй, третьей и других гармоник. Осциллограф покажет также наличие паразитных колебаний, шумов или других нарушений в выходном сигнале. Паразитные колебания проявляются как высокочастотные случайные выпросы на изображении, обычно на вершине сигнала. Фон изображается в виде утолщения линии сигнала, если частота НЧ-генератора становится близкой к 49 или 51 Гц.

Всплески — это острые импульсы, которые вызываются дефектами в источниках питания.

Полагают, что обратная отрицательная связь может скорректировать любые формы искажений усилителя. Однако это не так: из-за искажений, возникших благодаря ограничению, когда на усилитель подано напряжение выше точки отсечки (обратной связью скорректировать нельзя), усилитель просто перестает пропускать любое напряжение выше этой точки.

О методике проверки усилителей с помощью сигналов прямоугольной формы говорилось выше (см. § 5.6). Высококачественные усилители проверяют меандром с частотой 2 кГц. Таким образом, через широкополосный усилитель будут проходить частоты до 10—15-й гармоники от основной. На рис. 5.22 представлены осциллограммы сигналов на входе и выходе усилителя мощности, показывающие способность усилителя воспроизводить импульсные сигналы на активной нагрузке $R_н$=4 Ом (*а*

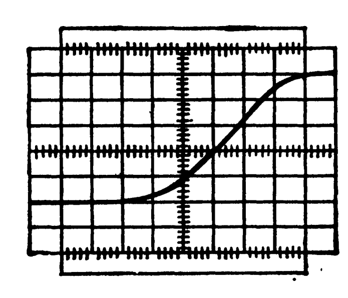


Рис. 5.23. Скорость нарастания выходного напряжения. Положение переключателей *V/дел* — 10 В; *Время/дел* — 0,1 мкс

и *б*) и комплексной нагрузке (*в* и *г*) при подключении к выходу конденсатора емкостью 1 мкФ.

Для правильного воспроизведения сигналов с минимальными искажениями определенное значение имеет скорость нарастания выходного напряжения, которую можно определить, подав на вход усилителя прямоугольный сигнал определенной частоты. Такая характеристика скорости нарастания дана на рис. 5.23 при подаче меандра 10 кГц.

Устранение «жесткости» звука усилителя. Иногда бывает, что хороший усилитель звучит неестественно: звук кажется «жестким, сухим, металлическим». Одной из причин этого может быть самовозбуждение на высоких частотах (имеется в виду паразитные колебания с малой амплитудой — иногда доли миллиметра и любой частотой — вплоть до многих мегагерц), возникающее в каких-либо режимах работы усилителя. Возникает оно чаще всего в выходных каскадах в моменты открывания или закрывания одного из транзисторов. Возникающие при самовозбуждении искажения могут быть малыми, поэтому их трудно обнаружить при наблюдении выходного сигнала на экране осциллографа. Однако если из выходного сигнала вычесть входной, скорректированный по амплитуде и фазе таким образом, чтобы разность оказалась по возможности малой, и подать разностный сигнал на осциллограф, то искажения, вызванные паразитными колебаниями, будут хорошо видны. На осциллограмме рис. 5.24,*а* (частота сигнала 400 Гц, частота паразитных колебаний несколько мегагерц) самовозбуждение проявляется в виде размытого пятна, на осциллограмме рис. 5.24,*б* виден лишь вызванный им выброс, так как составляющие с частотой самовозбуждения отфильтрованы. Из осциллограммы на рис. 5.24,*б* видно, что искаженный сигнал содержит высокочастотные гармоники, а они, как известно, в большей степени, чем низкочастотные, снижают естественность звучания. Именно поэтому вносимые паразитными колебаниями искажения заметны на слух даже в тех случаях, когда их вклад в общий коэффициент гармоник мал. Причина этого явления заключается в плохо скорректированной отрицательной обратной связи, и после ее правильного подбора самовозбуждение исчезает.

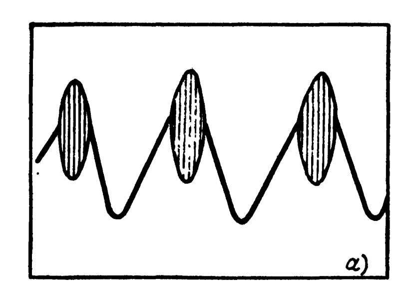
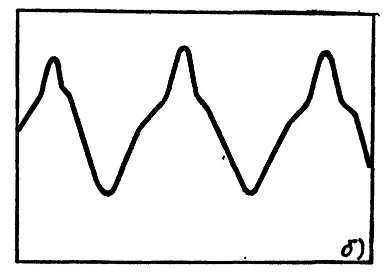



Рис. 5.24. Осциллограммы разностного сигнала с искажениями:
а — искажения в виде пятна; *б* — искажения в виде выброса

Проверка стереоусилителей намного упрощается, если использовать двухлучевой либо двухканальный осциллограф.

Подключив на входы осциллографа *I* и *II* выходы каналов, определим, какой канал не работает, а потом покаскадно сравним схему нормально работающего канала с вышедшим из строя (рис. 5.25,*а*). Для более быстрого определения причины неисправности удобно использовать генератор прямоугольных сигналов ГПС, подсоединив его ко входу через согласующее сопротивление *R1*. Предварительно надо убедиться, что в неработающем канале нет чрезмерного тока потребления, перегрева транзисторов, сгоревших резисторов, трещин или поломов в печатных платах, обрывов выводов.

При проверке каскадов усилителя как правого, так и левого плеча при калиброванных входах двухканального осциллографа легко обнаружить не только неисправные каскады, но вышедшие из строя детали. Например, если при подключении осциллографа к коллектору транзистора на изображении наблюдается шум (рис. 5.25,*б*), в то время как на базе транзистора помех не обнаружено, указанный транзистор следует заменить, так как он имеет большой уровень внутренних шумов.

Для проверки качества разделения каналов надо отключить правый вход усилителя и подать сигнал 1 кГц (или 2 кГц) на

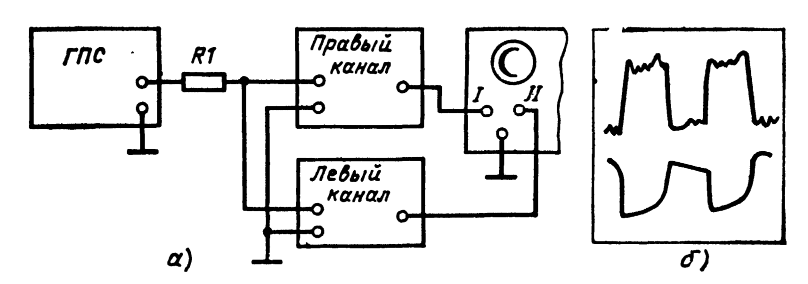


Рис. 5.25. Подключение генератора (*а*) для проверки стереоусилителя и примеры искажения сигналов (*б*) в каналах стереоусилителя

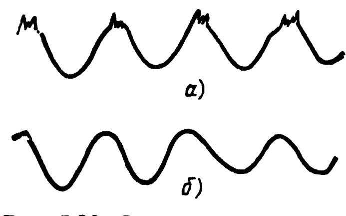
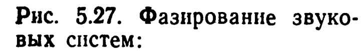


Рис. 5.26. Синусоидальный сигнал, воспроизводимый на экране осциллографа при дефектном (*а*) и нормальном (*б*) ходе иглы



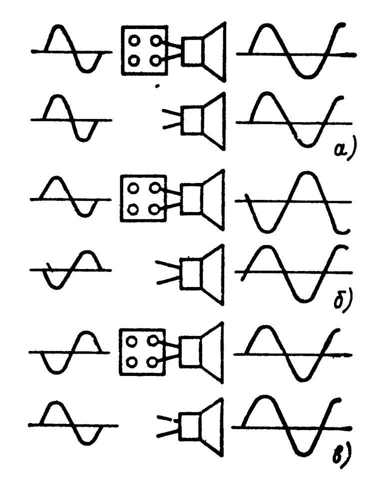


Рис. 5.27. Фазирование звуковых систем:

— одинаковые фазы; *б* — разные фазы; *в* — одинаковые фазы в результате фазирования

вход левого канала. При нормальных условиях на выходе правого канала напряжение должно быть по крайней мере в 30 раз меньше, чем левого. Также поступают и при подаче сигнала на вход правого канала. Надо сказать, что высококачественный декодер обеспечивает разделение 35 дБ.

Использование осциллографа и тест пластинок для проверки звукоснимателя. Правильность хода иглы по канавке, частотную и амплитудную характеристики звукоснимателя и разделение каналов проверяют также с помощью двухканального осциллографа и тест-пластинки.

При проверке хода иглы начинают с дорожек с малой скоростью записи, затем переходят на большую. Пример изображения при неправильном ходе иглы показан на рис. 5.26. Для проверки звукоснимателя сначала надо отбалансировать усилитель так, чтобы усиление каналов было одинаковым. Затем выбрать на пластинке частоту в 1000 Гц для правого и левого каналов и проанализировать изображение на экране. Если форма или амплитуда их разная, то игла или звукосниматель имеют дефекты.

Фазирование двух звуковых систем в стереоусилителе. Для качества стереоэффекта фазирование звука является обязательным. Для настоящего стереоэффекта оба сигнала должны излучаться в одной фазе, с совпадающими во времени амплитудами (рис. 5.27,*а*). При несоответствии их стереоэффект исчезает (рис. 5.27,*б*). Чтобы его получить, изменяют полярность сигнала (рис. 5.27,*в*).

Глава 6

ПРИМЕНЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ДЛЯ НАЛАЖИВАНИЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ И ПРИЕМНИКОВ

6.1. ПРОВЕРКА НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ

Проверка глубины модуляции по изображению амплитудно модулированной несущей — один из самых старых осциллографических методов проверки передатчиков. Коэффициент модуляции определяют по вертикальным размерам частей изображения амплитудно-модулированной несущей при непрерывной развертке. Сигнал с контура модулированного ВЧ-усилителя передатчика подают на пластины осциллографа с помощью небольшой катушки связи в 3—4 витка (рис. 6.1,*а*) или с помощью выносного делителя. Частоту развертки, синхронизацию и размер изображения устанавливают такими, чтобы на экране было несколько периодов удобного для измерения размера (рис. 6.1,*б*). Коэффициент модуляции, %,

$$M = \frac{a - b}{a + b} \cdot 100\,\%.$$

В различных измерительных генераторах с внутренней амплитудной модуляцией, а также в радиовещании принята глубина модуляции 30 %.

Амплитудно-модулированные колебания можно получить при помощи двух генераторов: низкочастотного и радиочастотного (рис. 6.2,*а*). Увеличивая амплитуду выходного сигнала ГНЧ, увеличивают и глубину модуляции (рис. 6.2,*б*). Осциллограф при этом находится в режиме ждущей развертки с внешней синхронизацией. (например, от ГНЧ).

Имеется еще способ определения глубины модуляции по «размытости» радиочастотных колебаний. Для этого снимают модуляцию и устанавливают длительность развертки такой, чтобы на экране появились колебания радиочастоты, осциллограф при этом может работать в режиме ждущей развертки с внутренней синхронизацией. Затем вводится модуляция и по размаху на изображении наибольшей и наименьшей «размытостей» подсчитывается по той же формуле ее глубина (рис. 6.2,*в*).

В стереофонических вещательных передатчиках принята система полярной, т. е. двухсторонней, модуляции вспомогательной ультразвуковой несущей или поднесущей частоты, равной 31,25 кГц. Верхняя огибающая поднесущей частоты представляет собой низкочастотный сигнал канала *А*, нижняя огибающая — сигнал канала *В*. Осциллограмма такого полярно модулированного колебания представлена на рис. 6.3. Глубину модуляции определяют здесь таким же образом.

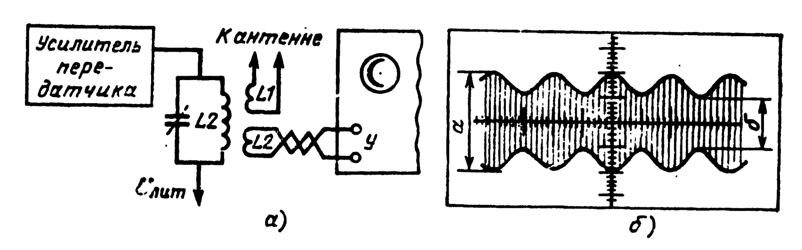


Рис. 6.1. Проверка амплитудно-модулированного сигнала в каскаде передатчика:

а — схема соединения; *б* — модулированная несущая (M=33 %)

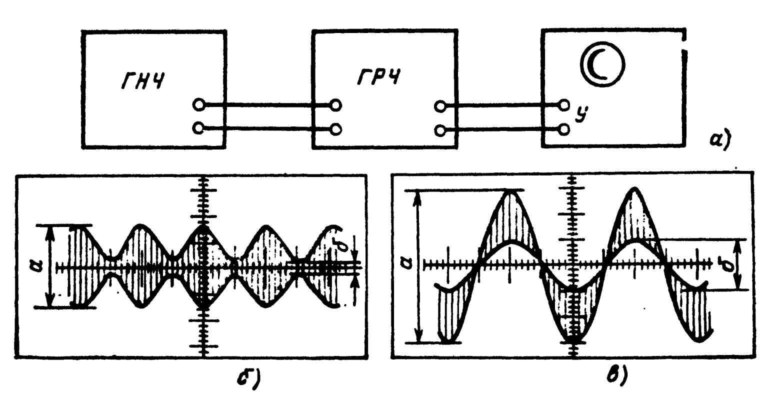


Рис. 6.2. Получение амплитудно-модулированных колебаний:

а — схема соединения; *б* — модуляция 75 %; *в* — получение модуляции путем «размытости» изображения

Определение глубины модуляции также может проводиться по трапециевидному изображению амплитудно-модулированного канала. Этот метод широко используют для непосредственной проверки и для калибровки измерителей коэффициента модуляции. Схема измерения показана на рис. 6.4,*а*. Собственная развертка осциллографа не нужна.

Напряжение с контура передатчика на вход *Y* или вертикально отклоняющие пластины подается через индуктивную связь (катушка) *L3* в 3—4 витка. Вход *X* соединен с выходом

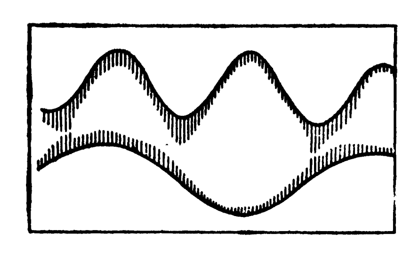


Рис. 6.3. Осциллограмма полярно модулированного колебания стереофонического передатчика

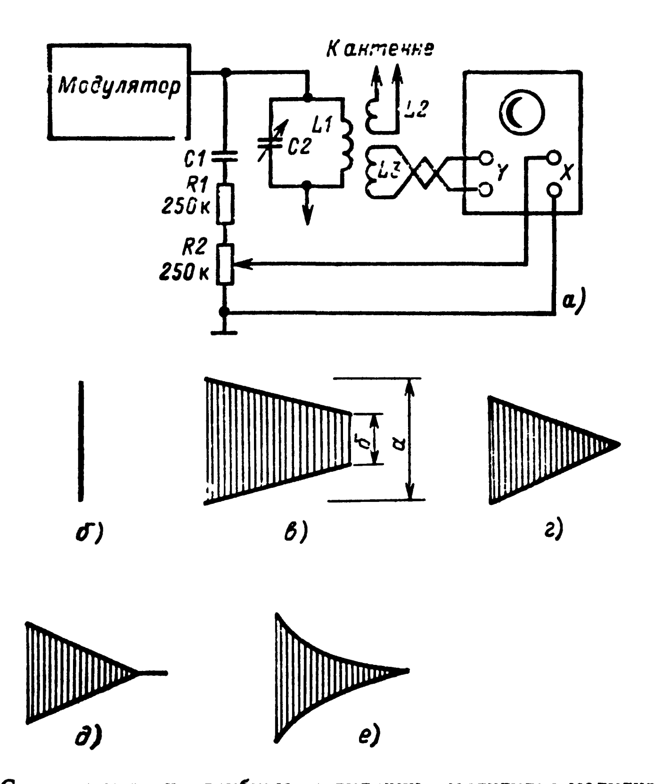


Рис. 6.4. Схема измерения глубины модуляции амплитудно-модулированного передатчика методом трапециевидных изображений:

а — схема; *б* — немодулированная несущая; *в* — модулированная несущая; *г* — коэффициент модуляции 100 %; *д* — чрезмерная модуляция; *е* — большая нелинейность

модулятора через делитель напряжения *C1*, *R1* и *R2*. Немодулированная несущая вызовет изображение вертикальной линии (рис. 6.4,*б*). Коэффициент модуляции определяют по той же формуле. Преимущество этого метода — возможность определения линейности амплитудно-модулированного высокочастотного усилителя (рис. 6.4,*в* — *е*).

6.2. ПРИМЕНЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ПРИ НАЛАЖИВАНИИ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

При проверке сквозного стереотракта осциллограф превращается в один из основных измерительных приборов, наглядно представляющий процесс регулировки стереоприемника и избавляющий регулировщика от множества трудоемких измерений, таких, как исследование амплитудных и фазочастотных характеристик, определение частоты настройки контура восстановления поднесущей частоты (ВПЧ) и др. Как уже упоминалось

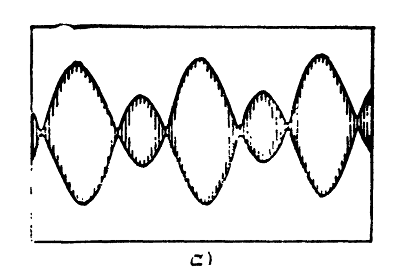
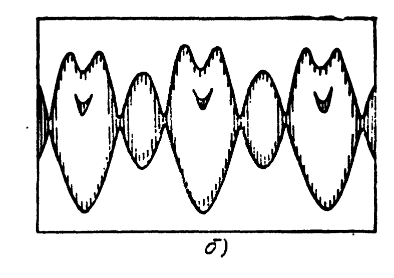



Рис. 6.5. Осциллограммы выходного напряжения на выходе контура поднесущей частоты блока стереодекодера:

а — при правильной настройке (четко видны переходы огибающей через нуль); *б* — при неточной настройке контура ВПЧ

ранее, по изображению на экране осциллографа определяют величину и фазу проникновения из канала в канал, измеряют глубину модуляции поднесущей частоты (см. рис. 6.3) и др. Ранее упоминалось о применении осциллографа при проверке идентичности амплитудной и фазовой частотных характеристик УНЧ. Чтобы избежать искажений, полоса осциллографа должна до 20 раз превышать $f_в$ полярно модулированного колебания (31,25 кГц).

Рассмотрим настройку стереодекодера «Ласпи-003 стерео». На вход стереодекодера подается сигнал с выхода стереомодулятора МОД-12 или МОД-15. Окончательная настройка контура восстановления поднесущей частоты проверяется осциллографом при противофазной модуляции в каналах *А* и *В*. Для этого стереомодулятор включают в режим разностного сигнала и устанавливают глубину модуляции 100 %. Осциллограф подключается к контрольной точке контура. Поворотом сердечников катушек контура добиваются четкого изображения выходного сигнала (рис. 6.5,*а*).

На вход блока стереодекодера подаются от стереомодулятора полярно модулированные колебания (ПМК) с модуляцией в канале *А* — частота модуляции 1 кГц, глубина модуляции 80 %, выходное напряжение модулятора 300 мВ. Резистор нагрузки контура восстановления поднесущей устанавливается в нулевое положение.

Осциллограф подключается попеременно на вход блока стереодекодера и к контрольной точке контура восстановления поднесущей частоты, чтобы убедиться в отсутствии амплитудно- и фазочастотных искажений ПМК. Достаточным критерием определения искажений является отсутствие модуляции в канале *В*.

Осциллограмма выходного напряжения должна быть подобна по форме напряжению на входе стереодекодера, отличаясь от последнего только масштабом. Такой метод позволяет опре-

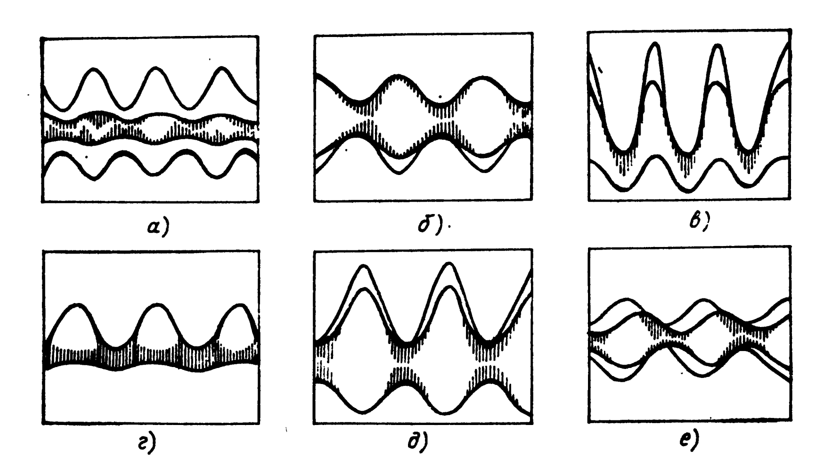


Рис. 6.6. Осциллограммы выходных напряжений стереодекодера:

а и *б* — остатки надтональных частот при паузе в наблюдаемом канале; *в* — сигнал на фоне надтональных частот; *г* — случаи синфазного проникновения из канала в канал; *д* — случаи противофазного проникновения сигнала; *е* — проникновение сигнала, сдвинутого по фазе на $\pi/2$ относительно полезного сигнала

делить искажения, соответствующие переходным затуханиям порядка 40 дБ (100 раз). Переходное затухание между стереоканалами при этом может быть определено как отношение амплитуды полезной огибающей ПМК к амплитуде паразитной огибающей, возникающей в другом канале в результате прохождения сигнала через испытываемое устройство. Причинами, вызывающими линейные искажения ПМК, являются неравномерность амплитудно-частотной и нелинейность фазочастотной характеристик тракта, которые могут возникать вследствие недостаточной емкости переходных конденсаторов. На рис. 6.6 показаны осциллограммы выходных напряжений стереодекодера.

6.3. ПРОВЕРКА ЦЕПЕЙ И АНАЛИЗ ФОРМ СИГНАЛОВ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПРИЕМНИКАХ

Сигналы в цепях телевизионного приемника можно классифицировать по ряду признаков на несколько основных групп, порождаемых автоколебательными системами: сигналы в цепях гетеродина селектора каналов, в схемах отклонения по кадрам и строкам. Эти узлы являются источниками сигналов, от них сигналы проходят по формообразующим цепям и возбуждают другие узлы. Многие из сигналов (в цепях строчных и кадровых разверток и сигналы синхронизации) могут быть с помощью осциллографа исследованы непосредственно. Но в телевизионном приемнике имеются сигналы, частоты которых находятся за

пределами полосы пропускания массовых осциллографов, поэтому их анализируют косвенными методами. Сигналы можно разделить на те, которые можно наблюдать непосредственно на экране осциллографа, и на те, которые можно наблюдать с помощью преобразователей.

Существуют внешние сигналы, без которых работа телевизора невозможна. Это сигналы, приходящие из телецентра, и напряжения питания. Сигналы в каналах синхронизации, видео- и звуковых каналах можно разделить на испытательные и рабочие. Например, сложный, модулированный по высокой частоте видеосигнал, поступающий от антенны, является рабочим. Сигналы же, поступающие при настройке телевизора от генераторов сигналов, звуковых генераторов и других устройств, являются испытательными сигналами. Предварительная проверка телевизора ограничивается контролем наличия или отсутствия сигналов. Более подробный анализ включает в себя измерение частот, амплитуд и наблюдение искажений формы сигнала.

Подходящим для работы с телевизором может быть осциллограф с входной чувствительностью 5 мВ/см или делений с полосой пропускания порядка 7 МГц, т. е. такой, как С1-94 или «Сага».

Проверка блоков телевизора и необходимые меры предосторожности. Проверка прохождения сигналов в телевизоре заключается в контроле прохождения полного телевизионного сигнала через каналы изображения, звука, синхронизации и разверток.

Для наблюдения сигнала в высокочастотных цепях телевизора (селектор каналов, УПЧ) следует воспользоваться пробником-детектором (см. рис. 2.16). При подсоединении его к цепям промежуточной частоты при входном сопротивлении пробника более 15 кОм и емкости менее 2,5 пФ он будет иметь достаточно высокое реактивное сопротивление и не внесет заметной нагрузки в исследуемую схему.

Подключать пробник к точке схемы, находящейся под напряжением, нужно осторожно, так как короткое замыкание в работающей схеме может привести к выводу из строя одного или даже нескольких транзисторов. Перед любой перепайкой следует обязательно отключить питание. Надо помнить, что транзисторы всегда выходят из строя мгновенно, в отличие от ламп, которые в течение некоторого времени могут выдерживать перегрузки.

Проверка блоков телевизора при отключенной отклоняющей системе недопустима, так как вызывает избыточные токи и перенапряжения в выходных каскадах отклонения и резко искажает формы сигналов. Для проверки сопротивления резисторов в транзисторных схемах нельзя пользоваться любым омметром; применяемый для этой цели омметр должен развивать на разомкнутых щупах напряжение не более 3 В, а при их замыкании —

ток не более нескольких десятков миллиампер, в противном случае также возможен выход из строя транзисторов.

Как обычно, при использовании пробника перед его подключением необходимо подсоединить землю проверяемой схемы и пробника к сигнальной цепи. Измерение амплитудных значений на контуре пробником-детектором все же дает не совсем правильные результаты, так как пробник вносит некоторые паразитные связи. При подсоединении пробника к выходу усилителя промежуточной частоты (УПЧ) создаются возможности для генерации, и возникшие колебания блокируют прохождение сигнала через УПЧ. Этот вопрос отпадает, если осциллограф, используемый вместе с пробником, поставить на открытый вход.

Генерация УПЧ возможна также при значительном увеличении постоянного напряжения на выходе видеодетектора, отчего может нарушаться работа видеоусилителей, цепей АРУ и других каскадов.

При проверке прохождения сигналов разностной частоты несущей звука и ПЧ сигнала от точки, с которой снимается разностная частота в видеоусилителе, до частотно-модулированного детектора, с учетом того что полоса усилителя ПЧ звука сравнительно узкая, входная емкость делителя пробника заметно расстраивает его по отношению к центральной частоте 6,5 МГц. Однако при такой проверке часто нужно только определить наличие или отсутствие в каждом каскаде несущей разностной частоты 6,5 МГц и ориентировочно оценить амплитуду.

Для проверки видеоусилителя при подключении его каскадов к осциллографу применяют пробник с малой входной емкостью. На рис. 6.7 приведена упрощенная схема двухкаскадного видеоусилителя черно-белого телевизора. Нагрузочное реактивное сопротивление включает в себя индуктивности (корректирующие катушки): параллельной *L1* и *L2* и последовательной *L3* и *L5* коррекции. Эти катушки обеспечивают высокочастотную компенсацию и плоскую характеристику от 50 Гц до 5,0 МГц.

Первый каскад работает как эмиттерный повторитель и не дает усиления напряжения. Однако он обеспечивает необходимое усиление по току для «раскачки» выходного транзистора. В данном примере общее усиление канала равно примерно 125. Проверка прохождения сигнала по каскадам не только показывает усиление каскада, но и дает возможность обнаружить искажения сигнала, которые в этом каскаде могут произойти.

Для анализа прохождения сигналов через звуковой сигнал и схему синхронизации можно использовать сигналы телевизионной станции, однако генератор сигналов позволяет создать более стабильные условия для проверки. Если подавать сигналы с промежуточной частотой звука 6,5 МГц, то на выходе УПЧ канала звукового сопровождения должна наблюдаться синусоида. Рабо-

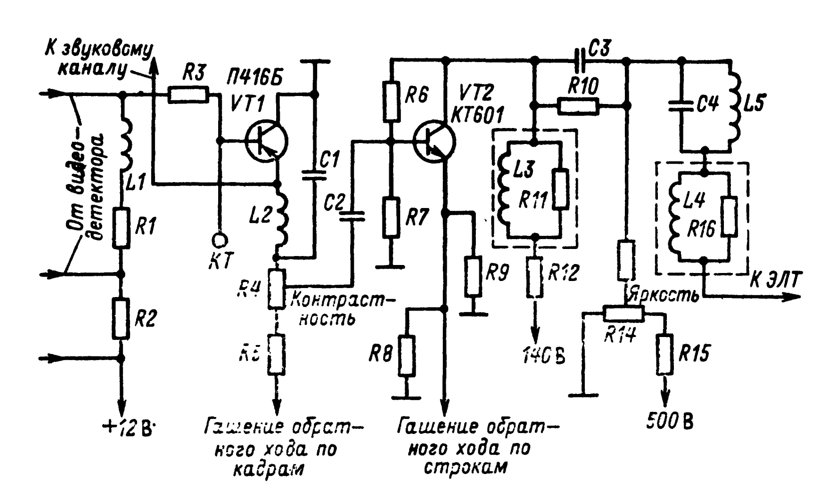


Рис. 6.7. Упрощенная схема двухкаскадного транзисторного видеоусилителя

та УНЧ проверяется обычным способом, описанным ранее.

Анализ форм сигналов в схемах разверток предполагает проведение следующих операций: измерение амплитуды, частоты повторения, длительности и формы импульсов, а также измерение длительности его фронтов. Наблюдаемые в различных точках осциллограммы необходимо сравнить с теми, которые приводятся в технической документации на телевизор.

Рассмотрение форм сигналов строчной развертки. На рис. 6.8,*а* приведена упрощенная схема строчного развертывающего устройства — модуля МС-3. Модуль содержит усилитель мощности *VT1*, выходной каскад *VT2*, диодный демпфер-модулятор *VD3*, *VD4*, выходной строчный трансформатор *T2* с импульсными выпрямителями напряжения *VD1*, *VD2*.

На базу транзистора *VT1* поступают положительные прямоугольные импульсы с субмодуля синхронизации (рис. 6.8,*б*) длительностью 20—30 мкс с периодом следования 64 мкс. Этими импульсами *VT1* открывается и закрывается при их отсутствии, когда резкое прекращение тока в коллекторной цепи вызывает появление импульса напряжения (рис. 6.8,*в*) в обмотке *1—2* трансформатора *T1*. Для уменьшения начального выброса обмотка зашунтирована цепью *R4*, *C2*.

Со вторичной обмотки *T1* импульсы напряжения поступают на базу транзистора *VT2* выходного каскада, управляя формированием пилообразного отклоняющего тока. Форма этих импульсов в результате протекания тока базы через резистор *R7* показана на рис. 6.8,*г*.

Выходной каскад собран по схеме двухстороннего транзисторно-диодного ключа на транзисторе *VT2* и диодах *VD3*, *VD4*. Положительная полуволна отклоняющего тока протекает через транзистор *VT2*, а отрицательная — через составной демпфер-модулятор *VD3*, *VD4*.

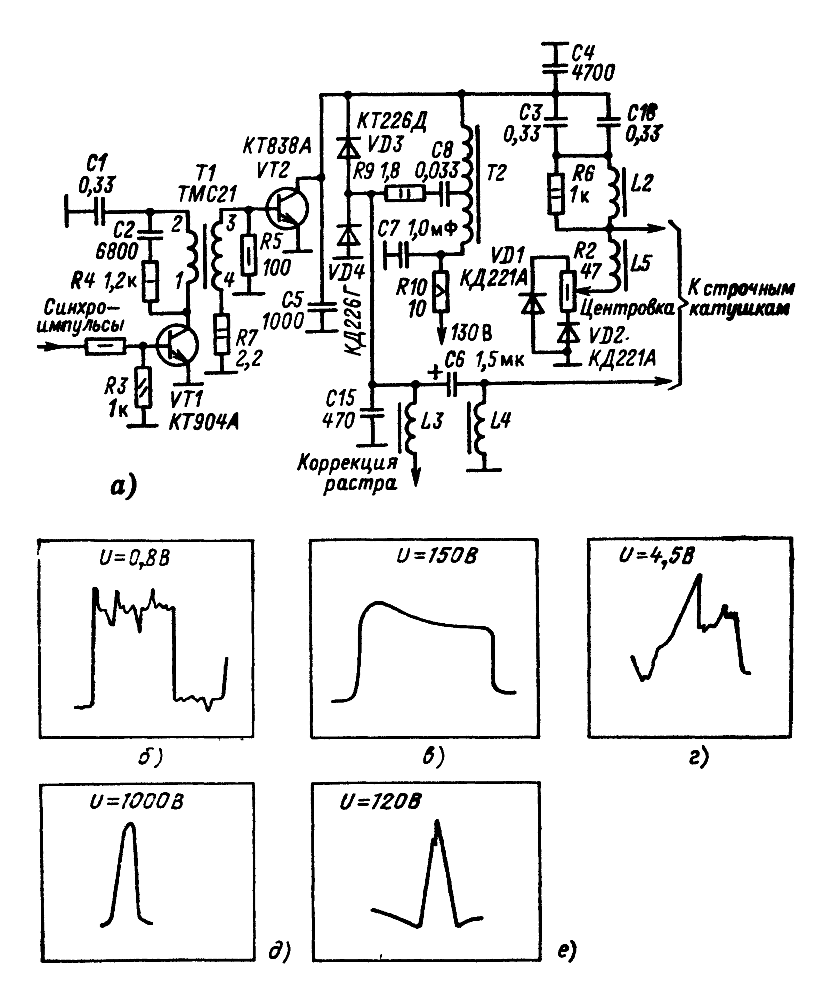


Рис. 6.8. Упрощенная схема выходного каскада строчной развертки:
а — схема; *б — е* — осциллограммы в цепях строчной развертки

Нагрузкой выходного каскада служат параллельно и раздельно подключенные к конденсаторам *C4*, *C5* строчные катушки отклоняющей системы (ОС) и выходной трансформатор *T2*. В катушках создается ток пилообразной формы, а на обмотках трансформатора — импульсы обратного хода лучей по строкам. Эти импульсы преобразуются выпрямителями в постоянные напряжения для питания анода, ускоряющих и фокусирующего электродов кинескопа, а также видеоусилителей модуля цветности.

Суммарная емкость конденсаторов *C4* и *C5* вместе с результирующей параллельной индуктивностью, которая в основном определяется строчными отклоняющими катушками ОС, образуют колебательный контур. Во время обратного хода строчной развертки на катушках ОС и выходном трансфор-

маторе *T2* возникают импульсы напряжения амплитудой около 1000 В (рис. 6.8,*д*).

Конденсаторы *C3*, *C16* кроме развязки строчных катушек от источника питания одновременно обеспечивают коррекцию нелинейных искажений (S-образная коррекция) и центровку растра. Они совместно с катушкой *L4* и строчными отклоняющими катушками образуют резонансный контур. Синусоидальные колебания тока, вонзикающие в нем, накладываются на пилообразый ток, придавая ему S-образную форму, при которой скорость отклонения лучей убывает по мере приближения к краям экрана.

Подушкообразные искажения вертикальных линий корректируются диодным модулятором, состоящим из составного демпфера на диодах *VD3*, *VD4*, конденсаторов *C6*, *C8*, резистора *R9* и катушек *L3*, *L4*. Катушка *L4* и конденсатор *C8* образуют колебательный контур, добротность которого определяется сопротивлением резистора *R9*. Конденсатор *C6*, не влияя существенно на частоту колебаний (его емкость значительно больше емкости конденсатора *C8*), служит в качестве управляемого источника напряжения, изменением которого добиваются необходимой коррекции растра.

Во время обратного хода строчной развертки положительный импульс, возникающий на коллекторе транзистора *VT2* (рис. 6.8,*д*), закрывает диоды составного демпфера. Под влиянием импульса обратного хода, который с вывода *11* обмотки выходного трансформатора воздействует на контур *C8L4* (рис. 6.8,*е*), в нем возникают свободные колебания. Контурный ток, протекая через конденсатор *C6*, заряжает его. По окончании одного полупериода обратного хода демпферные диоды открываются и прекращают свободные колебания в контуре. При этом начинается первая половина прямого хода строчной развертки, а степень отклонения луча от левого края к центру экрана определяется энергией, накопленной в строчных катушках ОС за предыдущий период. Амплитуда отклонения луча зависит от напряжения на конденсаторе *C6*, так как он включен последовательно в цепи строчных отклоняющих катушек и напряжение на нем направлено навстречу их ЭДС самоиндукции.

Осциллограф позволяет сравнительно легко найти неисправность в схеме строчной развертки. Полезно знать следующие соотношения, которые должны выдерживаться в исправной схеме: длительность запирающего импульса на базе транзистора выходного каскада должна быть больше длительности обратного хода, но меньше половины длительности прямого хода, длительность обратного хода должна лежать в пределах 11—15 мкс, причем в телевизорах с отношением сторон экрана 4 : 5 она ближе к большей цифре, а при отношении 3 : 4 — к меньшей; амплитуда импульса на коллекторе выходного транзистора должна быть в 7—10 раз больше напряжения питания выходного каскада.

Отклонение длительности запускающего импульса от нормы указывает на неисправность задающего генератора, слишком малая длительность обратного хода — на короткие замыкания

в строчных отклоняющих катушках (или строчном трансформаторе) либо на обрыв (потерю емкости) конденсатора *C4*, *C5*. В первом случае будет наблюдаться пониженная амплитуда импульса напряжения на коллекторе выходного транзистора, во втором — повышенная.

Требования, предъявляемые к транзистору *VT2*, довольно жесткие. Он должен иметь высокое быстродействие (время рассасывания около 1—2 мкс, время выключения — доли микросекунды), большие значения предельно допустимых токов и напряжений коллектора. Например, для черно-белого кинескопа с диагональю 51 см, он должен выдерживать разрывную мощность 1000 В·А (т. е. допускать предельные значения тока коллектора 5 А при 200 В или 1 А при 1000 В). Для кинескопов большего размера и цветных эти значения еще больше.

Резкие искажения формы напряжений в выходном каскаде строчной развертки могут свидетельствовать о междувитковых замыканиях в строчном выходном трансформаторе, в отклоняющих катушках и в регуляторе линейности строк.

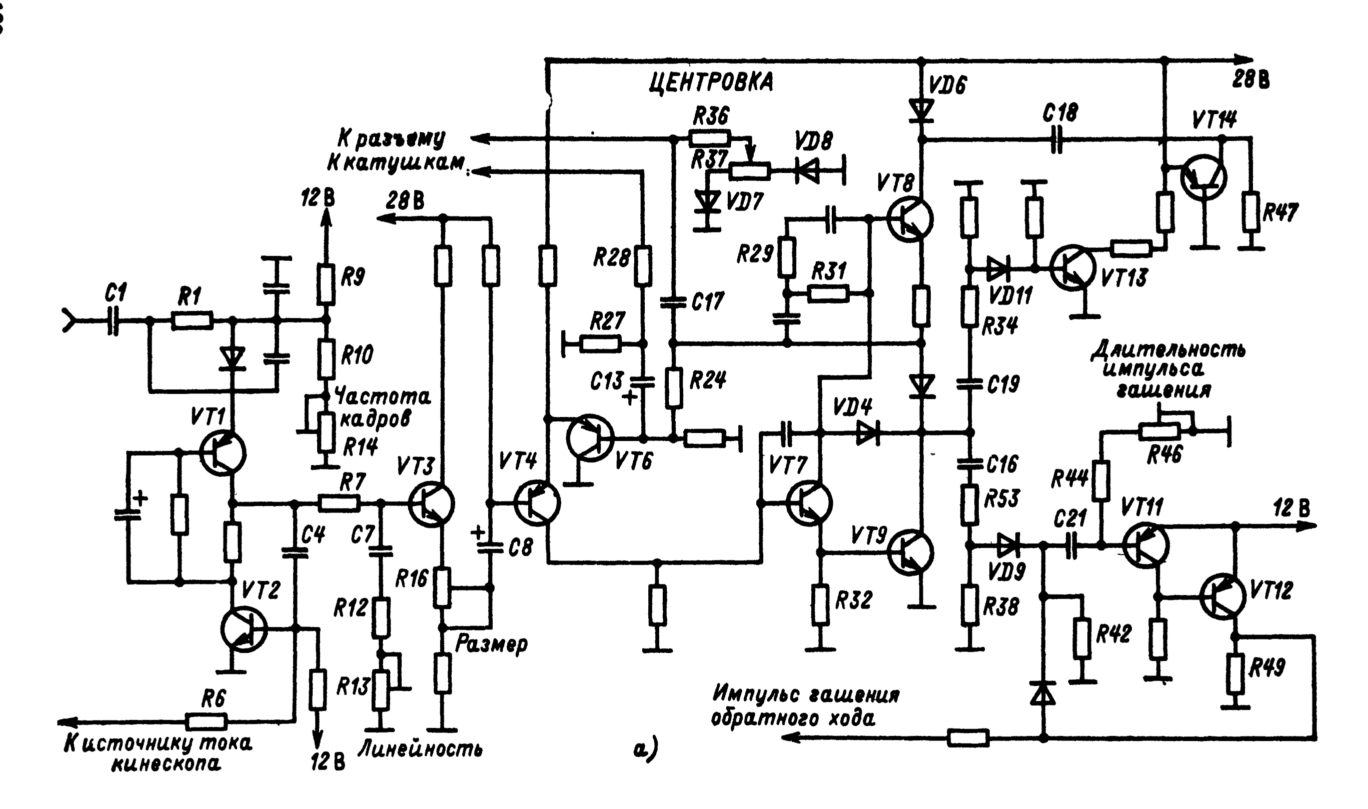
Формы сигналов в цепях кадровой развертки. На рис. 6.9,*а* приведена упрощенная схема модуля кадровой развертки МК-1-1 и осциллограммы в некоторых характерных точках. Модуль кадровой развертки состоит из задающего генератора *VT1*, *VT2*, эмиттерного повторителя *VT3*, дифференциального усилителя *VT4*, *VT6*, предварительного усилителя *VT7*, выходного каскада *VT8*, *VT9*, формирователя импульсов гашения *VT11*, *VT12* и генератора напряжения обратного хода *VT13*, *VT14*.

Для синхронизации задающего генератора, выполненного по схеме генератора линейно изменяющегося напряжения, используются импульсы положительной полярности (рис. 6.9,*б*), которые поступают через цепь *R1*, *C1* на эмиттер транзистора *VT1*. Частоту генератора устанавливают подстроечным резистором *R14*.

На базу транзистора *VT2* через резистор *R6* воздействует напряжение, пропорциональное току лучей кинескопа. Оно влияет на размах вырабатываемых генератором пилообразных импульсов так, что размер изображения по вертикали при изменении тока лучей кинескопа остается неизменным.

С конденсатора *C4* через резистор *R7* пилообразное напряжение (рис. 6.9,*в*) проходит на базу транзистора *VT3* эмиттерного повторителя. Линейность растра регулируется подстроечным резистором *R13*. С регулятора вертикального размера растра — подстроечного резистора *R16* (рис. 6.9,*г*) через конденсатор *C8* сигнал приходит на базу транзистора *VT4* дифференциального усилителя. На другой его вход — базу транзистора *VT6* — поступают напряжения отрицательной обратной связи по переменному и постоянному току.

Для обеспечения отрицательной обратной связи по переменному току с резистора *R27*, включенного в цепь кадровых катушек отклоняющей системы, через конденсатор *C13* пилообразное напряжение (рис. 6.9,*д*) воздействует на базу транзистора *VT6*. Это напряжение пропорционально току


ЦЕНТРОВКА
28 В
К разъему
К катушкам
12 В
28 В
Частота кадров
Размер
Линейность
К источнику тока кинескопа
12 В
Длительность импульса гашения
12 В
Импульс гашения обратного хода
C1 R1 R9 R10 R14 VT1 VT2 R6 C4 R7 C7 R12 R13 VT3 R16 C8 VT4 VT6 R28 R27 C13 C17 R24 R36 R37 VD8 VD7 VT8 R29 R31 VT7 VD4 VT9 R32 VD6 C18 VT14 R47 VT13 VD11 R34 C19 C16 R53 VD9 R38 C21 R42 VT11 R44 R46 VT12 R49

а)

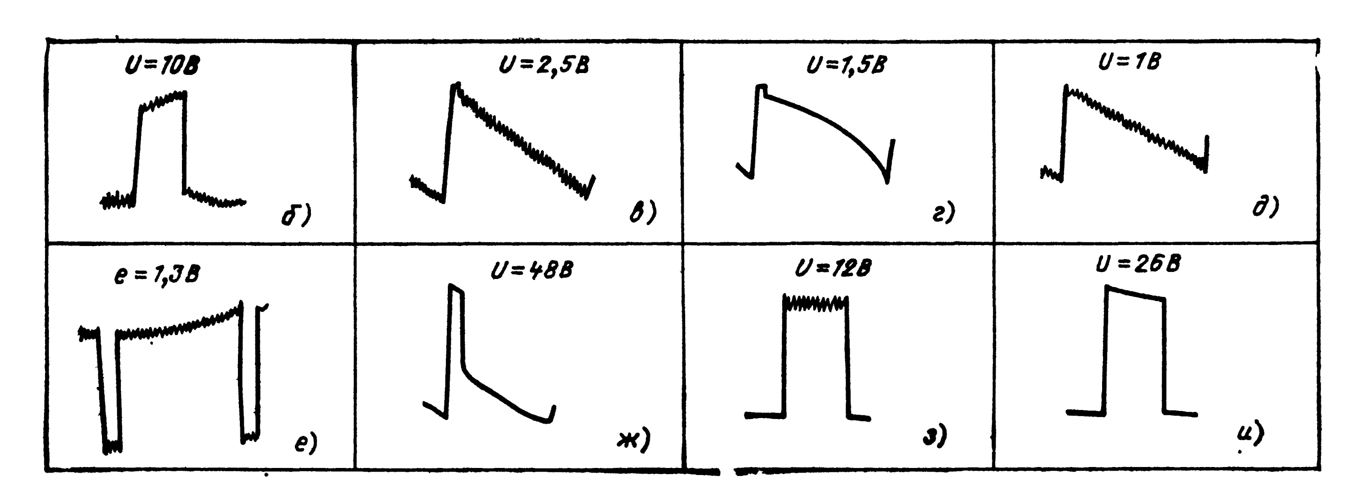


Рис. 6.9. Упрощенная схема (*а*) модуля кадровой развертки и осциллограммы (*б — и*) сигналов в цепях развертки

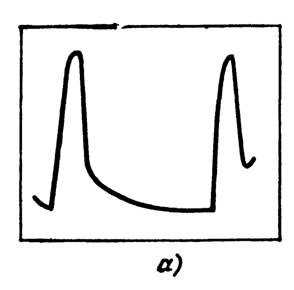
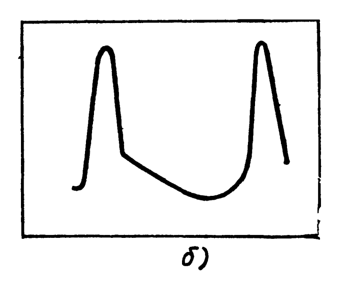
в кадровых катушках и противофазно напряжению на базе транзистора *VT4*. Поэтому при увеличении тока в кадровых катушках усиление дифференциального усилителя падает, поддерживая постоянным установленный размер по вертикали. Отрицательная обратная связь по постоянному току создается подачей через резистор *R24* на базу транзистора *VT6* напряжения со средней точки выходного каскада (рис. 6.9,*е*), повышая стабильность его работы.

С дифференциального усилителя сигнал (рис. 6.9,*ж*) приходит на базу транзистора *VT7* предварительного усилителя, выполненного по схеме с разделенной нагрузкой. С резисторов *R29* и *R31* в его коллекторной цепи и резистора *R32* в эмиттерной цепи сигналы поступают на базы транзисторов *VT8* и *VT9* двухтактного выходного каскада с переключающим диодом *VD4*. Транзисторы *VT8* и *VT9* работают поочередно: в первую половину прямого хода лучей (от верха до середины экрана) ток протекает через транзистор *VT8*, во вторую половину (от середины до низа экрана) — через транзистор *VT9*. Падение напряжения на диоде *VD4*, создаваемое отклоняющим током во время второй половины прямого хода развертки, обеспечивает закрытое состояние транзистора *VT8*.

С конденсатора *C17* через резистор *R36* импульсы кадровой частоты поступают на узел центровки растра, состоящий из подстроечного резистора *R37* и диодов *VD7* и *VD8*. Выпрямление импульсов кадровой частоты диодом *VD7* создает отрицательную составляющую напряжения в цепи, а диодом *VD8* — положительную. В среднем положении движка подстроечного резистора *R37* постоянные составляющие равны, ток смещения через кадровые катушки не протекает.

Для ускорения переходных процессов и получения малой длительности обратного хода кадровой развертки выходной каскад во время обратного хода питается повышенным напряжением. Оно формируется генератором обратного хода, выполненным на транзисторах *VT13*, *VT14*. Во время прямого хода развертки оба транзистора закрыты. При этом конденсатор *C18* быстро заряжается через диод *VD6* и резистор *R47* до напряжения источника питания 28 В. Во время обратного хода кадровой развертки через цепь *C19*, *R34* и диод *VD11* на базу транзистора *VT13* поступает положительный импульс обратного хода и открывает его, а следовательно, и транзистор *VT14*. При этом напряжение на конденсаторе *C18* суммируется с напряжением (рис. 6.9,*з*), возникающим на резисторе *R47* при открытом транзисторе *VT14*, в результате чего напряжение на коллекторе транзистора *VT8* выходного каскада во время обратного хода увеличивается примерно вдвое по сравнению с напряжением питания во время прямого хода.

Генератор импульсов гашения обратного хода лучей собран на транзисторах *VT11*, *VT12* по схеме одновибратора. На базу транзистора *VT11* импульсы проходят с коллектора транзистора *VT9* через сложную формирующую цепь. Длительность импульсов устанавливают подстроечным резистором *R46*. Во время прямого хода развертки транзистор *VT11* открыт, а *VT12* закрыт. При поступлении на базу транзистора *VT11* импульса обратного хода он закрывается, а транзистор *VT12* открывается до насыщения и на коллекторной нагрузке-резисторе *R49* возникает прямоугольный импульс гашения обратного хода лучей (рис. 6.9,*и*).

а) б)

Рис. 6.10. Искаженная форма тока в кадровых отклоняющих катушках, приводящая к искажению изображения

В схемах кадровых разверток могут возникать типичные дефекты. Например, наличие на экране телевизора яркой горизонтальной полосы свидетельствует об отсутствии вертикальной развертки. Для отыскания причины данной неполадки необходимо убедиться в отсутствии обрыва кадровых катушек, замерив сопротивление между соответствующими контактами соединителя (порядка 15—16 Ом), затем проверить напряжения; если и они в порядке, то осциллографом проверить осциллограммы в задающем генераторе и дифференциальном усилителе.

На рис. 6.10 показана форма тока в отклоняющих катушках, могущая вызвать появление сжатого снизу (*а*) или «завернутого» (*б*) изображения. Изменение размера растра (мал или велик) может быть вызвано утечкой или обрывом в конденсаторе *С7*, отсутствие половины растра вызывается пробоем транзистора *VT8* или конденсатора *С12* и т. д. И во всех случаях осциллограф явится если и не самым быстрым, то самым надежным средством определения неисправности.

6.4. ПРИМЕНЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАРУШЕНИЙ ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Воспроизведение цветного изображения потребовало введения в телевизор целого ряда дополнительных схемных решений. В общих чертах работа канала цветности телевизора сводится к следующему: после усиления принятого радиосигнала видеосигнал поступает в канал яркости и канал цветности. В канале яркости имеется линия задержки, которая компенсирует некоторую задержку сигнала в канале цветности, так что видеосигналы поступают на катоды и модуляторы кинескопа с одинаковыми задержками. Яркостный сигнал поступает на три катода кинескопа. При этом с помощью двух потенциометров обеспечивается возможность установки необходимой пропорции между контрастностью по отдельным основным цветам. Обычно в канале красного цвета регулировка не производится.

Видеосигнал с выхода детектора поступает на фильтр, в котором производится коррекция частотной характеристики телевизионного канала. Затем стоит ограничитель, срезающий паразитную амплитудную модуляцию частот-

но-модулированного цветного сигнала помехами и яркостным видеосигналом. Выход ограничителя подключен к линии задержки, время задержки которой равно длительности одной строки.

Далее следует каскад, характерный для телевизора, работающего на системе СЕКАМ — цветовой коммутатор на диодах, управляемый триггером. Переключающий триггер управляется импульсами обратного хода строчной развертки. Каждый из диодов находится в течение одной строки в одном положении, в течение другой строки — в другом.

Воздействие сигнала трех основных цветов *R*, *G*, *B* происходит на участках катод — модулятор кинескопа (на катоды подается яркостный сигнал *Y*). На два частотных дискриминатора цветовые сигналы *R* — *Y* и *B* — *Y* поступают по времени каждой строки (один сигнал — незадержанный, второй — задержанный на период строки). Выходные видеосигналы дискриминаторов после соответствующих усилителей следуют на модуляторы красного и синего лучей трехцветного кинескопа и, кроме того, используются для формирования цветоразностного сигнала *G* — *Y*, который подается на модулятор зеленого луча.

Устройство цветовой сигнализации управляет работой коммутатора цветовых сигналов. При правильной работе коммутаторов при передаче с телецентра сигнала красного цвета коммутатор должен подключить незадержанный выходной сигнал ограничителя к дискриминатору красного цвета, а дискриминатор синего — получить сигнал предыдущей строки.

Полный видеосигнал цветного изображения содержит сигналы опознавания, предназначенные для обеспечения синфазной работы коммутаторов приемного и передающего устройств, а также для автоматического переключателя приемника цветного телевидения с режима приема черно-белых передач в режим приема цветных и обратно. Сигналы опознавания передаются в течение девяти строк во время обратного хода кадровой развертки.

В схеме совпадения происходит обработка импульсов опознавания, снимаемых с выхода зеленого канала, и в случае сбоев цветной синхронизации производится корректировка фазы импульсов коммутации. Одновременно происходит запирание канала цветности на все время всего испорченного кадра, т. е. при нарушении цветовой синхронизации изображение становится черно-белым.

Все эти операции выполняются в модуле цветности, состоящем из 3—4 микросхем, например, типа К174. В современных моделях применяют модули типа МЦ-2, МЦ-3 и т. п.

Особенности масочного кинескопа требуют целого ряда устройств для коррекции движения лучей: устройства статического и динамического сведения лучей, коррекции положения синего луча, регулировки чистоты белого цвета, размагничивания кинескопа и т. д. В настоящее время в телевизорах ставятся кинескопы с самосведением. Работа схем цветного телевизора, правила эксплуатации и ремонта описаны во многих источниках. Ниже рассмотрены некоторые применения осциллографа для просмотра сигнала в цепях цветного телевизора.

Для отыскания неисправностей в черно-белом тракте ЦВТ пригодны те же методы, которые используют в обычном черно-

белом телевизоре. Однако для получения четкого представления о процессах, определяющих прохождение и формирование цветовых сигналов, очень полезен осциллограф. Наиболее пригодны для работы с приемниками цветного телевидения специальные телевизионные осциллографы С1-55, С1-57, С9-1 и особенно новый С1-130, имеющие полосу пропускания 10—15 МГц и возможности выделения отдельных строк и измерения большого количества специальных характеристик. Но для выполнения обычных ремонтных и настроечных работ вполне достаточно применить осциллографы с полосой пропускания 7—10 МГц и ждущей разверткой.

Неисправности, возникающие в телевизоре, разделяют обычно на три категории: а) связанные с отсутствием свечения экрана, яркостью и фокусировкой; б) приводящие к отсутствию или неправильному воспроизведению черно-белого изображения; в) вызывающие пропадание или искажения цветного изображения (отсутствие цвета, нарушение цветовой синхронизации, плохое воспроизведение цвета).

Универсальные осциллографы применяют главным образом для проверки схемы синхронизации, блоков строчной и кадровой развертки, гашения, коррекции подушкообразных искажений, регулировки канала цветности и автоматической регулировки усиления.

Осциллограф вместе с сигналами цветных полос, которые систематически передаются телевизионным центром, можно использовать для выполнения следующих операций: проверки прохождения поднесущих сигналов цветности, модулированных цветоразностными сигналами $E_R—E_Y$ и $E_Y—E_B$ через канал цветности; выравнивания уровней поднесущих прямого и задержанного каналов; настройки и проверки обратной коррекции высокочастотных и низкочастотных предыскажений, установки нулей частотных дискриминаторов; регулировки и проверки уровней цветоразностных сигналов; регулировки и проверки цветовой синхронизации. При этом сигнал цветных полос может поступать вместе с высокочастотным сигналом на антенный вход телевизора (от телецентра) или как видеосигнал на вход яркостного канала (от генератора).

Внешние признаки дефектного цветовоспроизведения — отсутствие цветного изображения, нарушение правильности цветовоспроизведения, нарушение синхронизации.

При пропадании или отсутствии цветного изображения, которое может произойти из-за неисправностей в радиоканале, в яркостном канале и канале цветности, осциллограф может помочь в уточнении места неисправности, например в измерении амплитуды сигнала на нагрузке видеодетектора, который не должен быть менее указанного в инструкции. Его можно замерить на входе канала цветности (рис. 6.11,*а*).

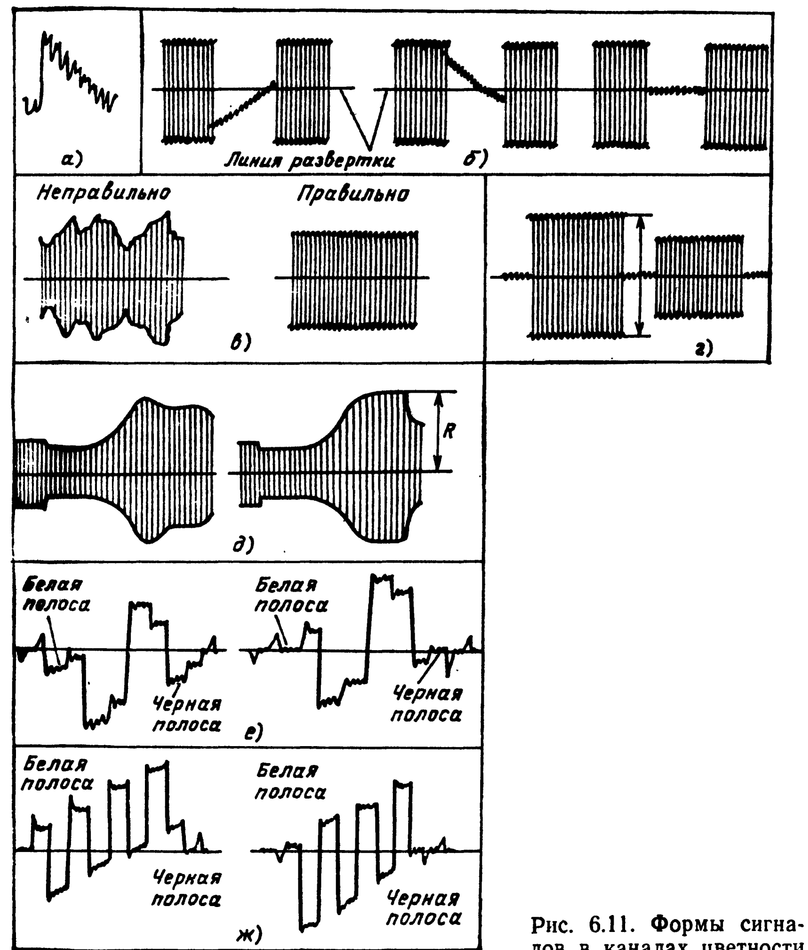


Рис. 6.11. Формы сигналов в каналах цветности

При появлении цветных помех (цветной «снег» на черно-белом изображении) дефекты можно искать в канале яркости, откуда снимается сигнал в блок цветности, и в самом блоке цветности. При помощи осциллографа следует убедиться в присутствии видеосигнала на входе блока цветности. Причиной таких помех может быть неисправность микросхемы в модуле цветности, утечки в конденсаторах, неустойчивые контакты и др.

При резком нарушении правильности цветовоспроизведения, когда при передаче черно-белого изображения поле экрана остается окрашенным в какой-либо цвет, причиной нарушения может быть выход из строя одной из пушек кинескопа. Если

имеется неисправность в одном из цветоразностных каналов, то будет резко нарушено цветное изображение. Осциллограф с делителем 1 : 10 подключают к соответствующим контрольным точкам.

Для установки режима микросхемы выделения сигналов цветовой синхронизации и управления каналом цветности подстроечным резистором добиваются симметрии сигнала относительно линии развертки без сигнала, как это показано на рис. 6.11,*б*. Для настройки контура коррекции ВЧ-предыскажений вращением подстроечника катушки контура получают возможно меньшую амплитудную модуляцию сигнала в соответствии с рис. 6.11,*в*. Для настройки системы цветовой синхронизации осциллограф через резистор 20—22 кОм подключают к соответствующей контрольной точке и подстроечником катушки добиваются максимальной амплитуды первой части импульсов опознавания (рис. 6.11,*г*). При этом на осциллограф желательно подать импульсы от соответствующей контрольной точки. Подстрочным резистором выравниваются также амплитуды прямого и задержанного сигналов в соседних строках, что показано стрелкой на рис. 6.11,*д*.

Осциллографом также настраивают нули дискриминаторов. Подключают прибор последовательно к контрольным точкам контуров $R-Y$, $B-Y$ и сравнивают положение уровня напряжения, соответствующего белой и черной полосам с положением линии развертки. На рис. 6.11,*е* показана осциллограмма «красного» цветоразностного сигнала $R-Y$. Если уровни не совпадают, то вращением подстроечника катушки их совмещают. Для повышения точности настройки чувствительность осциллографа устанавливают минимальной.

После этого осциллограф переключают на контрольную точку «синего» цветоразностного сигнала $B-Y$ (рис. 6.11,*ж*). При необходимости вращения сердечника катушки подстраивают нуль частотного детектора до совпадения уровней белой и черной полос с линией развертки.

Глава 7

ПРИМЕНЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ПРИ АНАЛИЗЕ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

7.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

При работе с источниками питания следует еще раз напомнить о необходимости соблюдения мер безопасности, так как в них первичный источник энергии — электрическая сеть имеет довольно высокое напряжение и большую мощность. Особенно

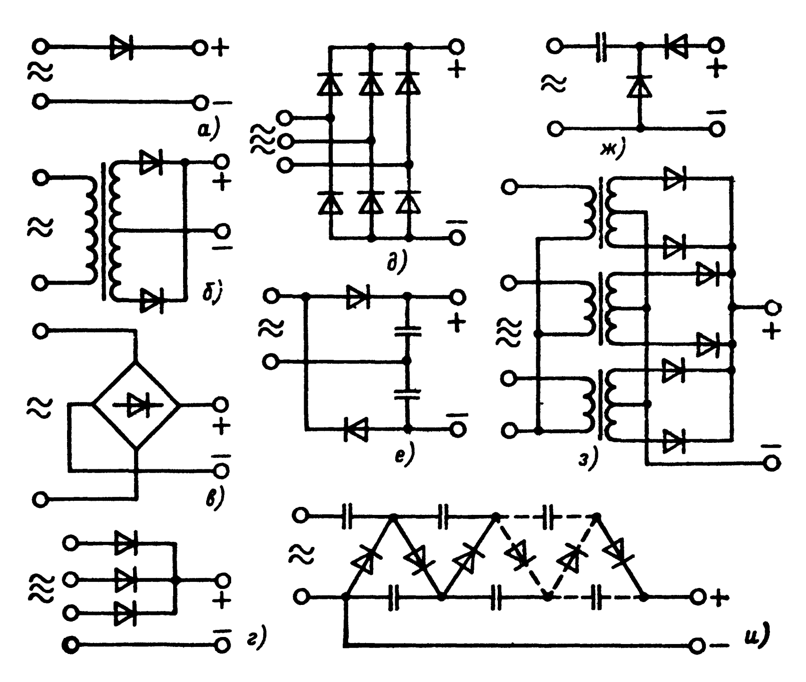


Рис. 7.1. Схемы выпрямителей:

а — однополупериодный; *б* — двухполупериодный; *в* — мостовой; *г* — однополупериодный трехфазный; *д* — мостовой трехфазный; *е* — двухполупериодный с удвоением; *ж* — однополупериодный с удвоением; *з* — двухполупериодный трехфазный; *и* — с умножением напряжения

осторожно нужно работать с бестрансформаторными выпрямителями и схемами, питающимися от таких выпрямителей.

Соединение измеряемой цепи с входом осциллографа должно иметь надежную изоляцию. Часто применяют кабель с двумя зажимами «крокодил», на которые надевают изолирующие трубки. Манипуляции при подключении нужно проводить одной рукой; процесс измерений не затягивать и отключать прибор, как только измерение закончено.

Аналогичные меры предпринимают, если требуется соединить корпус осциллографа с выводом выпрямителя, находящимся под значительным потенциалом относительно общего провода.

При испытаниях выпрямителей с выходным напряжением выше 200 В вообще нельзя соединять корпус осциллографа с незаземленной клеммой такого выпрямителя, так как изоляция в блоке питания осциллографа не рассчитана на напряжение выше 500 В.

Основные преимущества дает применение осциллографа в тех случаях, когда неисправность выпрямителя проявляется в виде пониженного напряжения и (или) повышенной пульсации. Су-

ществуют весьма совершенные схемы источников питания, но для определения пульсаций, возникших в любой схеме, лучше всего пользоваться осциллографом. Частота пульсаций равна частоте сети для схем на рис. 7.1,*а* и *ж*; удвоенной частоте сети для схем на рис. 7.1,*б*, *в* и *е*; утроенной частоте сети для схемы на рис. 7.1,*г*; ушестеренной частоте сети для схем на рис. 7.1,*д* и *и*.

Частота пульсаций зависит от частоты сети и типа выпрямителя, амплитуды пульсаций, а также и от вида фильтра, параметров его элементов и тока нагрузки. Амплитуду пульсаций на выходе звена фильтра можно оценить, зная амплитуду пульсаций на входе и коэффициент ослабления звена.

Пониженное напряжение на входе фильтра при нормальной амплитуде и частоте пульсаций указывает на обрыв одной из обмоток силового трансформатора в тех случаях, когда применяется их параллельное включение.

Пониженная частота и повышенная амплитуда пульсаций наблюдаются при обрыве одного из диодов в выпрямителях, выполненных по схемам на рис. 7.1,*б* — *д*, *и*. В схемах на рис. 7.1,*б*, *г*, *д* такое же явление может быть вызвано обрывом одной из вторичных обмоток трансформатора, а в схемах на рис. 7.1,*г* — *и* — также и обрывом первичной обмотки. Анализируя форму пульсации, можно определить, какие плечи выпрямителя вышли из строя. Для этого осциллограф необходимо поставить в режим внешней синхронизации и подать в качестве запускающего сигнала на вход синхронизации напряжение одной из фаз со входа выпрямителя.

Увеличенная амплитуда пульсации на входе фильтра при нормальной частоте пульсаций может возникнуть при перегрузке выпрямителя. Но если ток нагрузки нормальный, то возможна потеря емкости первым конденсатором фильтра либо очень большая утечка в одном из конденсаторов.

Увеличенная амплитуда пульсаций на выходе звена фильтра при нормальной амплитуде и частоте пульсаций на его входе указывает на потерю емкости выходным конденсатором или на межвитковое замыкание в дросселе фильтра.

Пульсации на выходе фильтра, не синхронные с напряжением сети, возникают из-за влияния переменной составляющей тока нагрузки и указывают на потерю емкости выходным конденсатором фильтра.

7.2. СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Компенсационные стабилизаторы напряжения или стабилизаторы непрерывного действия — это система автоматического регулирования, представляющая усилители постоянного тока, охваченные глубокой отрицательной обратной связью.

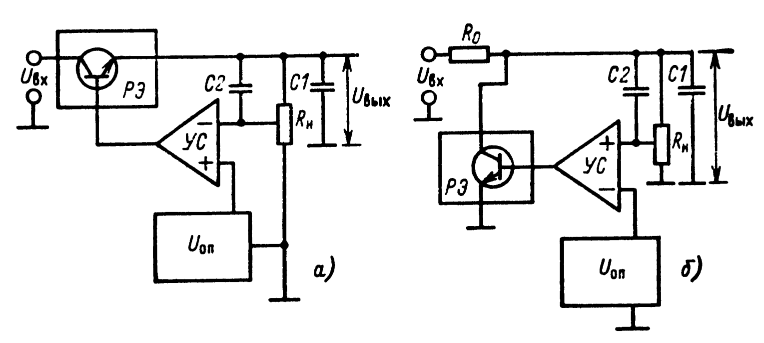


Рис. 7.2. Структурные схемы стабилизаторов непрерывного типа

Упрощенные схемы стабилизаторов компенсационного типа с последовательной (*а*) и параллельной (*б*) регулировкой приведены на рис. 7.2. В процессе работы происходит непрерывное сравнение напряжения на нагрузке $R_н$ (или части его) $U_н$ с опорным напряжением $U_{оп}$. Полученный сигнал рассогласования $\Delta U = U_{оп} - U_н$ усиливается и подается на вход регулирующего элемента, сопротивление которого изменяется в зависимости от сигнала рассогласования. Напряжение на нагрузке $U_н = U_{вх} - \Delta U_р$ ($\Delta U_р$ — падение напряжения на регулирующем элементе).

В качестве регулирующего элемента используют транзистор, коллектор и эмиттер которого включены в основную цепь, а на базу подается сигнал управления (рассогласования). В маломощных стабилизаторах регулирующий транзистор является необходимым элементом схемы. При больших токах нагрузки регулирующий элемент выполняется на составных или параллельно включенных транзисторах. Оконечный транзистор может быть дискретного исполнения. Регулирующий элемент одновременно выполняет функции сглаживающего фильтра. Наиболее широко распространены схемы с последовательным включением. Опорное напряжение снимается со стабилитрона, питание которого может осуществляться как со стороны выходного, так и входного напряжений.

Такие стабилизаторы выполняют на единой полупроводниковой микросхеме, обеспечивающей функции стабилизации напряжения, сглаживания пульсации, а также защиты от перегрузок.

Приведенная на рис. 7.3 схема компенсационного стабилизатора напряжения в интегральном исполнении на микросхеме К142ЕН1 содержит все функциональные узлы, показанные на рис. 7.2.

Источник опорного напряжения состоит из элементов *VT1*, *VT3*, *VT10*, *R1*, *R2*, дифференциальный усилитель — из элементов *VT2*, *VT6*, *VT7*, *R3*, регулирующий элемент *VT4*, *VT5*. Для функционирования схемы и получения заданного выходного на-

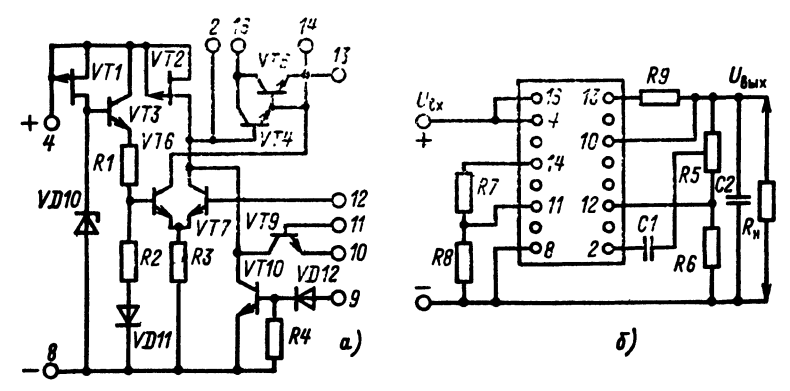


Рис. 7.3. Схема компенсационного стабилизатора, выполненная в интегральном модуле (*а*), и схема его включения (*б*)

пряжения подключаются внешние элементы — резисторы и конденсаторы (рис. 7.3,*б*).

Работает схема следующим образом. Опорное напряжение $U_{оп}$ от внутреннего источника и напряжение, пропорциональное выходному $\Delta U_{вых}$ с внешнего делителя *R5*, *R6*, сравниваются дифференциальным усилителем. Разностный усиленный сигнал воздействует на базу составного транзистора *VT4*, *VT5*, изменяет сопротивление регулирующего органа и компенсирует изменение выходного напряжения на выводе *13*.

Требуемое значение выходного напряжения устанавливается с помощью регулировочного резистора *R5*. Выходной делитель может быть заменен стабилитроном и резистором. Для увеличения выходного тока к выводам *13*, *16* микросхемы может быть подключен внешний мощный транзистор. Функции защиты от перегрузок и коротких замыканий осуществляется элементами *VT8*, *VT9*, *VT12*, *R4*, *R7—R9*.

Неисправности компенсационных стабилизаторов, выполненных на транзисторах. Такие неисправности отыскивают, проверяя режим по постоянному току с помощью вольтметра или осциллографа с открытым входом. Однако имеется ряд неисправностей, которые могут быть исследованы только с помощью осциллографа.

Возбуждение стабилизатора проявляется в виде быстрых периодических колебаний напряжения на его выходе, частота собственных колебаний возбуждающегося стабилизатора в зависимости от параметров и вида неисправности может лежать в диапазоне от единиц до сотен килогерц, а амплитуда — от десятков милливольт до единиц вольт.

Причина возникновения колебаний заключается в следующем. Стабилизатор представляет собой усилитель с большим коэффициентом усиления, охваченным глубокой обратной связью. Для того чтобы схема стабилизатора

была устойчива, фазовый сдвиг сигнала в петле обратной связи должен быть менее 180° во всей полосе частот, где коэффициент усиления превышает единицу. Обычно для соблюдения этого условия на выходе стабилизатора включают конденсатор большой емкости (*C1* на рис. 7.2,*б*). Выход из строя этого конденсатора (обрыв или потеря емкости) может вызвать возбуждение стабилизатора. К такому же эффекту может привести увеличение сопротивления между выводом конденсатора и его обкладкой до нескольких десятых долей или единиц ом, которое наблюдается в электролитических конденсаторах.

Такой отказ трудно обнаружить с помощью имеющихся простых способов проверки электролитических конденсаторов (например, по броску стрелки омметра). В некоторых схемах стабилитронов в качестве *C1* применяют два параллельно включенных конденсатора: электролитический большой емкости и какой-либо конденсатор с малой собственной индуктивностью. В этом случае возбуждение может быть вызвано обрывом второго конденсатора. Причиной возбуждения может быть также неправильный монтаж выходных цепей стабилизатора (конденсатор *C1* связан с выходом длинными проводами), в этом случае возбуждение вызывается падением напряжения на паразитной индуктивности и сопротивлении проводов.

Возбуждение стабилизатора возможно при индуктивном характере нагрузки, если запас устойчивости в контуре обратной связи стабилизатора мал, т. е. при активной нагрузке фазовый сдвиг на частоте единичного усиления, хотя и не достигает 180°, но превышает 135°.

Затухающий колебательный процесс на выходе стабилизатора при перепаде (подключении или снятии) нагрузки указывает на малый запас устойчивости. Возможные причины этого дефекта в основном те же, что и возбуждения. Стабилизатор с малым запасом устойчивости потенциально ненадежен, так как небольшие дестабилизирующие влияния могут сделать его неустойчивым.

Повышенный уровень пульсаций на выходе стабилизатора при нормальных пульсациях на входе и нормальном режиме стабилизатора по постоянному току указывает на обрыв конденсатора, блокирующего резистор *R1* (*C2* на рис. 7.2,*а* и *б*).

Импульсные источники питания. В последнее время в связи с появлением высоковольтных транзисторов получают распространение (особенно в малогабаритных телевизорах) новые источники питания, содержащие бестрансформаторный выпрямитель, ключевой стабилизатор напряжения и преобразователь. Общие принципы такого стабилизатора заключаются в том, что в них регулирующий транзистор работает в импульсном режиме. Так же как и в стабилизаторе непрерывного типа, в нем есть регулирующий транзистор, выходной делитель, источник опорного напряжения и усилитель сигнала рассогласования. Однако вводятся еще генератор импульсов, трансформатор, дроссель и регулирующий диод. Но при этом не нужны громоздкий и дорогостоящий силовой трансформатор и электролитические конденсаторы большой емкости из-за низкой частоты пульсаций выпрямленного напряжения.

В телевизорах начали применять синхронизируемые импульсные преобразователи с широтно-импульсной модуляцией и импульсные источники питания, совмещенные с выходным каскадом генератора строчной развертки. На

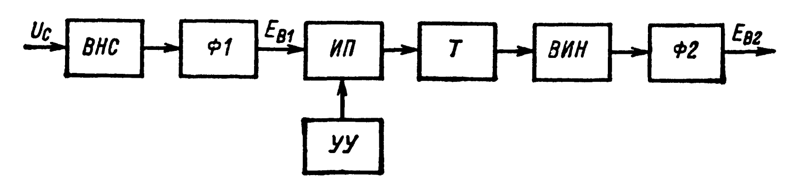


Рис. 7.4. Структурная схема импульсного устройства питания

рис. 7.4 показана схема такого импульсного устройства питания. Выпрямитель напряжения сети ВНС выпрямляет входное переменное напряжение U_c. Выпрямленное напряжение сглаживается фильтром *Ф1*, и полученное постоянное напряжение $E_{в1}$ преобразуется в импульсном преобразователе *ИП* в импульсное напряжение достаточной высокой частоты. Трансформатор *Т* позволяет получить на вторичной обмотке импульсы нужного размаха и изолировать последующую часть схемы от питающей сети. Выпрямитель импульсного напряжения *ВИН* выпрямляет напряжение вторичных обмоток *Т*, которое сглаживается фильтром *Ф2*, образуя на выходе напряжение питания телевизора $E_{в2}$.

Основным элементом такого устройства питания является импульсный преобразователь *ИП*, содержащий прерыватель (ключ) в цепи подачи выпрямленного напряжения сети $E_{в1}$ на трансформатор, а также устройство управления *УУ* прерывателем, определяющее частоту и скважность импульсов управления.

Роль задающего генератора для импульсного преобразователя обычно в таких схемах выполняет задающий генератор строчной развертки, и сам импульсный преобразователь совмещается с выходным каскадом строчной развертки.

В качестве примера рассмотрим структурную схему блока питания телевизора «Электроника Ц-430» и «Электроника Ц-432». Блок питания обеспечивает работу телевизора как от сети переменного тока, так и от аккумуляторной батареи (рис. 7.5). В первом режиме сетевое напряжение, прошедшее через помехоподавляющий фильтр *ПФ*, выпрямляется выпрямителем *В* напряжения. Выпрямленное напряжение 130 В стабилизируется с помощью тиристорного стабилизатора *ТС*, состоящего из тиристора и устройства управления. Стабилизация выходного напряжения осуществляется за счет регулирования фазы включения тиристора в течение полуволны поступающего на его анод напряжения, которое подается на импульсный преобразователь *ИП1*, работающий на строчной частоте. Тиристорный стабилизатор обеспечивает стабилизацию напряжения 130 В как при изменении тока нагрузки, так и при изменении в широких пределах питающего напряжения сети. Триггерное устройство защиты ТУЗ выключает *ТС* при нарушениях контакта в сетевой розетке, а также при увеличении потребляемого тока от стабилизатора выше допустимого. Импульсы управления *ИП1* формируются задающим генератором *ЗГ* строчной развертки. Нагрузкой преобразователя *ИП1* является первичная обмотка *I* трансформатора *Т3*. В цепях вторичных обмоток *II* включены выходные выпрямители *ВВ* блока питания. Кроме того,

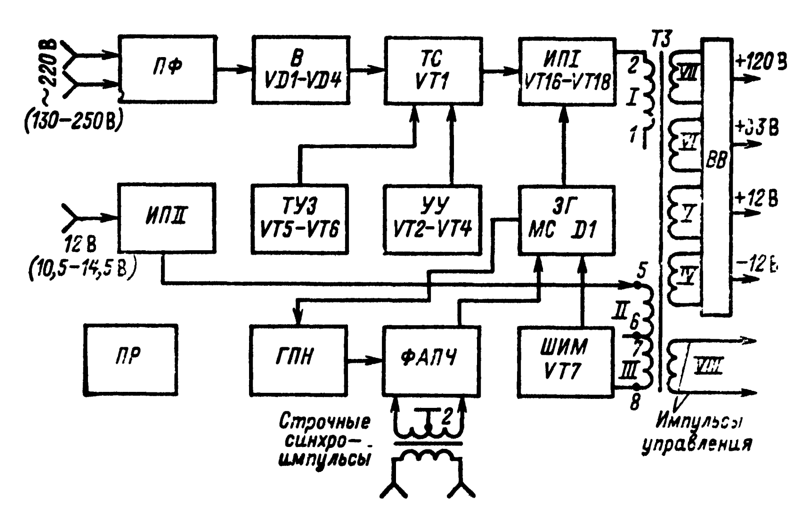


Рис. 7.5. Структурная схема блока питания телевизора «Электроника Ц-430»

с обмотки *VIII* этого трансформатора снимаются импульсы управления для выходного каскада генератора строчной развертки, находящегося в модуле строчной развертки.

При питании телевизора от аккумулятора напряжение 12 В преобразуется в импульсное с помощью импульсного преобразователя *ИПII*, нагруженного на первичную обмотку *II* трансформатора *Т3*. Управляется *ИПII* также импульсами с ЗГ. Режимы питания переключаются переключателем *ПР*. Синхронизация *ЗГ* по частоте и фазе осуществляется с помощью устройства *ФАПЧ*, в котором сравниваются разнополярные строчные импульсы, снимаемые со вторичных обмоток трансформатора *Т2* и пилообразные импульсы, которые вырабатываются генератором пилообразного напряжения *ГПН*. Для стабилизации выходных напряжений блока питания при изменениях потребляемого тока и выходных напряжений 130, 12 В применена схема широтно-импульсной модуляции *ШИМ* импульсов управления преобразователями. В случае снижения напряжения на вторичных обмотках трансформатора *Т3* также снижается напряжение и на обмотках *II*, *III*. Это напряжение в каскаде *ШИМ* выпрямляется и сравнивается с опорным. Полученное напряжение ошибки подается на *ЗГ* для изменения ширины (скважности) управляющих импульсов таким образом, что происходит компенсация снижения выходных напряжений. На рис. 7.6 показаны некоторые формы сигналов источника питания.

Неисправности блока питания. Если блок питания (БП) не включается, то в общем случае имеются следующие пути локализации дефекта: анализ работоспособности БП при питании его от источника 12 В и от сети, а также проверка работоспособности тиристорного стабилизатора при работе его на экви-

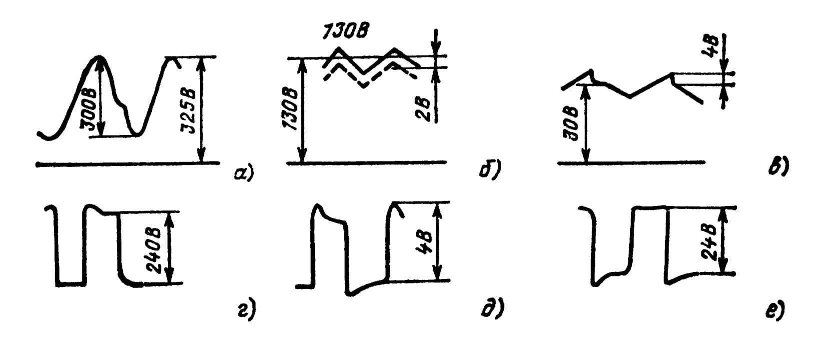


Рис. 7.6. Формы сигналов в цепях блока питания:

а — напряжение на аноде тиристора, частота 100 Гц; *б* — напряжение на катоде тиристора; *в* — напряжение на конденсаторе — источнике питания первого транзистора узла управления тиристором; *г* — выходное напряжение тиристорного стабилизатора через обмотку трансформатора и защитный диод, подаваемое на коллектор предвыходного транзистора; *д* — напряжение на базе выходного транзистора; *е* — форма выходного импульса

валент нагрузки. В общем случае порядок ремонта БП может быть следующим:

заменяют данный БП на заведомо исправный с целью определить место нахождения дефекта — в БП или во внешних цепях. Если такой возможности нет, то кратковременно включают БП на холостом ходу и замеряют выходные напряжения на разъеме, которые в случае дефекта должны быть значительно больше номинальных;

подключают БП к вспомогательному внешнему источнику 12 В, 5 А. Если транзисторный стабилизатор не работает, то проверяют осциллографом покаскадно наличие импульсов от выхода микросхемы до эмиттера выходного транзистора (рис. 7.6,*е*). При отсутствии импульсов проверяют напряжения на выходах микросхемы (МС). Заниженное напряжение может быть следствием утечки подключенного к этому выводу МС конденсатора;

подключают БП к сети 220 В. Если при этом БП не включается, то неисправен тиристорный стабилизатор или выходной каскад транзисторного стабилизатора. Для этого осциллографом проверяют наличие импульса на базе и на коллекторе выходного транзистора. Поиск неисправности в тиристорном стабилизаторе начинают с проверки исправности транзисторов и диодов. Может быть пробит тиристор. Осциллографом определяют наличие импульсов частотой 100 Гц на аноде тиристора (рис. 7.6,*а*). Если они отсутствуют, то проверяют каскады схемы до входа. При наличии импульсов дефект ищут в остальной части тиристорного стабилизатора. Отсутствие пилообразного напряжения, идущего на конденсатор — источник напряжения первого транзистора от входного делителя, может быть вызвано

неисправностью конденсатора или транзистора. Отсутствие импульсов на управляющем электроде тиристора может быть вызвано обрывом подключенного к нему конденсатора.

Срыв строчной синхронизации может вызываться утечкой конденсаторов, подпаянных к выводам микросхемы *VD1*. Но если импульсы поступают на соответствующий вывод микросхемы, а синхронизация отсутствует, то МС подлежит замене.

7.3. НЕИСПРАВНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Транзисторные преобразователи. Они преобразуют постоянный ток в переменный. Сущность инвертирования заключается в том, что первичная обмотка силового трансформатора поочередно подключается к сети постоянного тока с противоположной полярностью. При этом на обмотках трансформатора появляется переменное напряжение прямоугольной, трапецеидальной, ступенчатой или синусоидальной формы. Повышение частоты преобразования приводит к существенному уменьшению массы силового трансформатора. Например, для трансформаторов с выходной мощностью 250 Вт при увеличении частоты преобразования с 1 до 100 кГц масса уменьшается примерно в 100 раз.

Двухтактные транзисторные преобразователи напряжения. Содержат два (четыре) транзисторных ключа и силовой трансформатор. Если от преобразователя требуется постоянное напряжение, то на его выходе включается выпрямитель, обычно двухполупериодный или мостовой.

На рис. 7.7 показаны упрощенные принципиальные схемы двухтактных преобразователей (цепи без транзисторов на рис. 7.7,*в* не показаны). В преобразователях цепь смещения $R_б$ и $R_с$ иногда делают общей для двух тран-

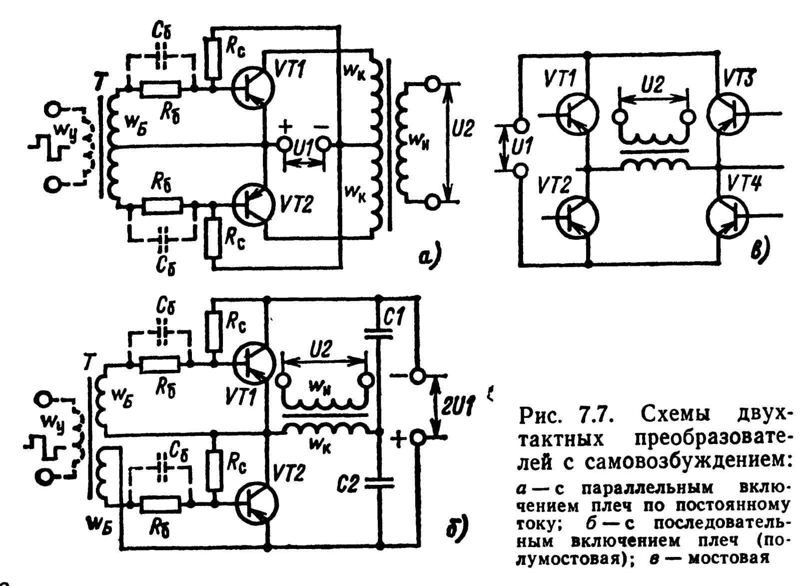
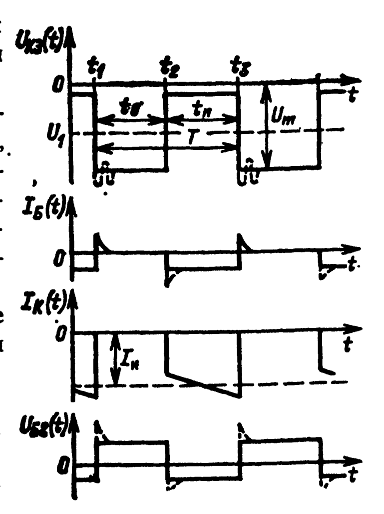


Рис. 7.7. Схемы двухтактных преобразователей с самовозбуждением:
а — с параллельным включением плеч по постоянному току; *б* — с последовательным включением плеч (полумостовая); *в* — мостовая

зисторов ($R_б$ включают между средней точкой базовых обмоток и эмиттерами транзисторов).

В зависимости от того, откуда поступают сигналы управления транзисторами, различают три вида преобразователей: в самовозбуждающихся преобразователях с насыщенным силовым трансформатором напряжение снимается с обмоток ω_Y, размещенных на силовом трансформаторе T; в самовозбуждающемся преобразователе с ненасыщенным силовым трансформатором обмотки ω_Y размещаются на отдельном маломощном трансформаторе, одна из обмоток которого подключена к какой-либо обмотке силового трансформатора T; в преобразователе с независимым возбуждением базовые цепи ключевых транзисторов связаны через трансформатор с отдельным маломощным генератором возбуждения.


Рис. 7.8. Диаграммы напряжений и токов с одного плеча преобразователей

Независимо от схемы и способа возбуждения осциллограммы напряжений и токов в двухтактных преобразователях (рис. 7.7) имеют один и тот же вид, приведенный на рис. 7.8 (показаны токи и напряжения для одного плеча). В исправном преобразователе интервалы t_1t_2 и t_2t_3 практически равны; разница их не превышает 2—3%, поэтому ее трудно увидеть на экране осциллографа.

Амплитуда напряжения коллектор — эмиттер примерно вдвое превышает напряжение питания для схемы на рис. 7.7,*а* и примерно равна напряжению питания для схем на рис. 7.7,*в*.

В интервале t_1t_2 транзистор заперт, а в интервале t_2t_3 открыт и насыщен. Ток коллектора представляет собой сумму трансформированного тока нагрузки ($I_н$ на рис. 7.8) и тока намагничивания трансформатора, который меняется по линейному закону, чем объясняется наклон вершины импульса коллекторного тока. Форма импульса коллекторного тока на рис. 7.8 соответствует чисто активной нагрузке, для которой $I_н$ почти постоянен; для нагрузки, имеющей реактивную составляющую, например выпрямитель с фильтром, $I_н$ может меняться в течение полупериода и соответственно график $I_к(t)$ будет иметь другой вид.

Выбросы напряжения базы и отрицательный выброс тока базы (показаны на рис. 7.8 штрихом) появляются в тех случаях, когда для формирования включения и выключения транзисторов в базовые цепи вводят ускоряющие конденсаторы ($C_б$ на рис. 7.7). Положительный выброс тока базы в моменты t_1 и t_3 вызван зарядом, накопленным в базе транзистора, и может быть

мал при достаточно быстродействующем транзисторе. Обычно выбросы заметны, если применяются сплавные транзисторы (например, П214—П217, П4 и др.).

Колебания напряжения $U_{кэ}$ после моментов t_1 и t_3 (показаны на рис. 7.8 штрихом) могут наблюдаться в схеме на рис. 5.10,*а*, если у контура, образованного паразитной емкостью коллекторного узла и индуктивностью рассеяния первичной обмотки трансформатора *Т*, добротность больше единицы.

Неисправности двухтактных преобразователей. Очень большой потребляемый ток (сгорание предохранителя, если он есть) вызывается коротким замыканием коллектор — база или коллектор — эмиттер в одном из транзисторов (см. рис. 7.7,*а*) или двух транзисторах (см. рис. 7.7,*б* и *в*). В преобразователе с независимым возбуждением то же самое будет наблюдаться при коротких замыканиях в нагрузке, диодах выпрямителя, трансформаторе.

Отсутствие генерации в преобразователе с самовозбуждением возможно при замыкании в нагрузке, пробое диода выпрямителя или при междувитковом замыкании в трансформаторе.

Жесткое возбуждение в преобразователе с самовозбуждением (для запуска нужен внешний толчок, например касание отверткой и т. п.) указывает на обрыв в одном из *RC*.

Несимметричный режим в схемах на рис. 7.7,*а* и *в* [разница форм полуволн $U_{кэ}$ (t), заметная на экране осциллографа], может наблюдаться при обрыве цепи любого электрода при коротком замыкании база — эмиттер одного из транзисторов, а также при обрыве одного из диодов выпрямителя.

Асимметрия выходного напряжения в схеме на рис. 7.7,*б*, сопровождающаяся понижением выходного напряжения, будет наблюдаться при обрыве одного из диодов выходного выпрямителя, если этот выпрямитель один.

Если к выходу преобразователя подключено несколько выпрямителей, то при обрыве диода в одном из них на его выходе напряжение понизится, а на выходе других выпрямителей — повысится (за исключением тех, которые выполнены по схемам умножения на рис. 7.1,*е*, *ж*, *к*), и также появится асимметрия формы напряжения на первичной обмотке. Степень проявления всех этих признаков зависит от того, какую долю мощности потребляет неисправный выпрямитель. Хороший индикатор исправности преобразователя, выполненного по схеме, изображенной на рис. 7.7,*б*, — это значение напряжения в общей точке конденсаторов *C1* и *C2*: в исправном устройстве она равна половине напряжения источника питания с точностью до долей вольта.

Однотактные преобразователи и их неисправности. На рис. 7.9,*а* приведена схема однотактного преобразователя. Графики напряжений и токов, изо-

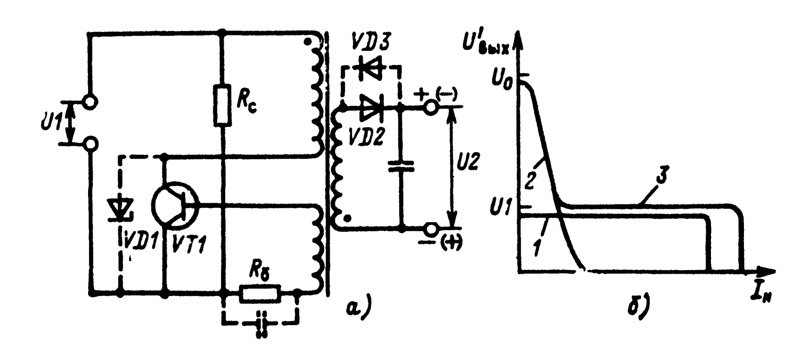


Рис. 7.9. Схема однотактного преобразователя (*а*) и его нагрузочные характеристики (*б*)

браженные на рис. 7.8, справедливы и для однотактных преобразователей, с той лишь разницей, что в них режим почти никогда не бывает симметричным.

Назовем полуволну напряжения на обмотках трансформатора в интервале t_2t_3 прямой, а полуволну t_1t_2 — обратной. Соотношения амплитуд и длительности прямой и обратной полуволн зависят от нагрузки и от того, как подключены диоды выпрямителя к выходным обмоткам. В связи с этим различают преобразователи первого, второго и третьего типа: преобразователь с выпрямлением прямой полуволны напряжения на выходе (диод *VD2*, включен так, как это показано на рис. 7.9,*а*, сплошной линией); преобразователь с выпрямлением обратной полуволны (включение диода *VD3* показано штриховой линией); преобразователь с выпрямлением обеих полуволн (на выходе в этом случае должен включаться мостовой или двухполупериодный выпрямитель).

Так как при малых нагрузках (в преобразователе первого типа — независимо от нагрузки) амплитуда обратной волны практически ничем не ограничена, то для того, чтобы в транзисторе или диоде не наступил режим пробоя, в схему вводят цепь ограничения.

На рис. 7.9,*б* показаны нагрузочные характеристики всех трех типов преобразователей (кривые *1*, *2*, *3* соответственно). По вертикальной оси отложены значения выходного напряжения $U_{вых}$, пересчитанного к первичной обмотке. Кривая *3* на начальном участке совпадает с кривой *2*. Напряжение U_0 определяется напряжением стабилизации U_c стабилитрона *VD1*:

$$U_0 = U_c - U_1.$$

Являясь нагрузочной кривой, график на рис. 7.9,*б* в то же время дает представление о соотношении длительностей и амплитуд прямой и обратной полуволн для преобразователей второго и третьего типов:

$$U_m = U'_{вых} + U_1; \quad t_о/t_п = U'_{вых}/U_1.$$

(Смысл U_m, $t_о$, $t_п$ ясен из рис. 7.8, $U'_{вых}$, U_1 — из рис. 7.8 и 7.9)

В преобразователе первого типа

$$U_m=U_0=U_c-U_1;\quad t_0/t_n\approx(U_0-U_1)/U_1.$$

Из графика на рис. 7.9,*б* следует, в частности, что в преобразователе третьего типа при средних и больших токах нагрузки режим близок к симметричному ($t_0\approx t_п$).

Неисправности однотактных преобразователей. Эти неисправности проявляются в основном так же, как и неисправности в двухтактных (см. рис. 7.7,*а*), со следующими отличиями: к однотактным преобразователям не относится пункт несимметричный режим, так как такой режим в них не есть признак неисправности; при коротком замыкании в нагрузке преобразователя второго типа не происходит срыва возбуждения, но резко понижается частота генерации (и, конечно, пропадает выходное напряжение); при обрыве диода в преобразователях первого и второго типа пропадаёт напряжение и в преобразователе третьего типа меняется нагрузочная характеристика.

Меры предосторожности при работе с преобразователями. Преобразователи с независимым возбуждением не допускают коротких замыканий на выходе. В противоположность им самовозбуждающие преобразователи всех типов допускают их без какого-либо ущерба. При работе с высоковольтным преобразователем надо соблюдать те же меры предосторожности, что и с выпрямителем на соответствующее напряжение.

Глава 8

ПРИМЕНЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ПРИ НАЛАЖИВАНИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

8.1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ ПО МЕТОДИКЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Основой вычислительных устройств являются интегральные схемы. Методика измерения их электрических параметров по форме и содержанию значительно отличается от методов измерения полупроводниковых приборов (ППП) — транзисторов, диодов и др., которые в достаточной степени определились.

Операции при проверке вычислительного устройства. Организация цикла. На экране осциллографа удобно наблюдать повторяющиеся сигналы, поэтому проверяемое устройство ставится в такой режим, при котором все процессы будут повторяться циклически. Удобнее всего, когда период повторения не превышает нескольких сотых секунды (допустим период доли секунды, но тогда придется мириться с мельканием изображения). Не

обязательно проверять устройство в одном цикле: можно вместо одного длинного организовать несколько более коротких.

Синхронизация. В вычислительных устройствах циклы работы подразделяют на такты — более мелкие временны́е интервалы. Необходимо найти в устройстве (или сервисном приборе) сигналы, которые можно использовать как синхроимпульсы для запуска развертки в некоторых точно известных точках цикла, отстоящих друг от друга не более чем на 20 тактов.

Временны́е диаграммы, отражающие изменения состояния определенных точек узлов в течение цикла, очень облегчают отладку. Не обязательно, а часто и невозможно иметь временны́е диаграммы всех рабочих точек схемы. Схема может быть разбита на основные узлы, определяющие работу всего устройства, и в этих узлах должны быть предусмотрены контрольные точки, рассмотрение форм сигналов в которых и обеспечивает надежность работы всего комплекса.

Поиск неисправности внутри блока проводится после того, как выявлена неисправность. Последовательно, проверяя осциллографом сигналы на входах и выходах всех элементов блока, локализуют место дефекта. Выявить место дефекта можно по одному из следующих признаков: выходной (входной) сигнал элемента (часть времени или все время) находится за границей нормальных для этого элемента уровней; выходные сигналы элемента, находясь в пределах нормальных уровней, не соответствуют его функции; входной сигнал одного элемента не соответствует выходному сигналу другого, с которым вход первого связан по принципиальной схеме.

Первые два признака могут появиться как из-за неисправности (короткое замыкание или обрыв) в монтаже, так и из-за неисправности элемента. Установить фактическую причину всегда можно экспериментами (с помощью омметра, отпайки проводов, замены подозрительного элемента и т. д.). Иногда это можно сделать непосредственно по осциллограмме. Третий признак непосредственно указывает на обрыв в цепи (в монтаже) или отсутствие в разъеме.

Когда место дефекта выявлено, остается только его исправить. Иногда устраненный дефект мог маскировать другую неисправность. Так, чередуя поблочную проверку и выявление дефектных элементов в блоке, добиваются правильного функционирования всех блоков и устройства в целом.

8.2. ОСОБЕННОСТИ НАЛАЖИВАНИЯ УСТРОЙСТВ НА ЭЛЕМЕНТАХ ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ

Схемы транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) широко используются в вычислительных устройствах самого разного назначения. Интегральные схемы ТТЛ создаются по планарной технологии, позволяющей получить на

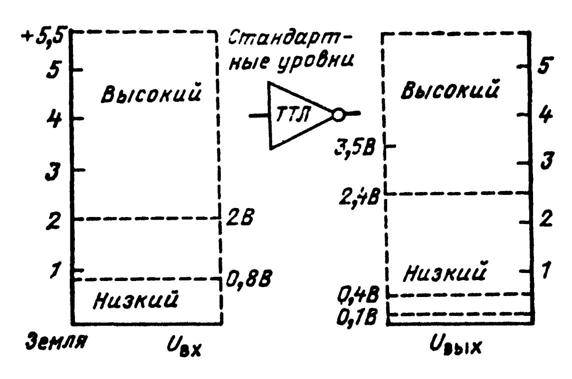


Рис. 8.1. Уровни напряжений на входе и выходе ТТЛ-схем

одном кристалле сотни компонентов, объединяемых в схемы, выполняющие законченные функции (триггеры, счетчики, регистры и др.). После изготовления кристалл помещают в корпус, имеющий 14, 16, 24 или более выводов.

Аналоговое устройство — это такое устройство, в котором сигнал на выходе меняется непрерывно при постепенном изменении сигнала на входе. Для цифровых схем существует только два сигнала — два уровня напряжения, и цифровой сигнал — это чередование двух четко определенных уровней — высокого и низкого.

На рис. 8.1 показан инвертор из логического семейства биполярных ТТЛ-схем с уровнями входного и выходного напряжений. Для обеспечения надежной работы микросхем низкому уровню на входе должно соответствовать напряжение в диапазоне от потенциала земли до 0,8 В, высокому уровню — напряжение от 2 до 5,5 В. Средняя область на рисунке относится к области сигналов неопределенного логического уровня, ей соответствуют напряжения в диапазоне от 0,8 до 2,0 В; такие напряжения на входах крайне нежелательны и могут приводить к непредсказуемым результатам на выходах логических элементов.

Типичные уровни сигналов на выходе ТТЛ инвертора составляют: 0,1 В — низкого и 3,5 В — высокого уровня. Значение напряжения, соответствующее сигналу высокого уровня, зависит от сопротивления нагрузки на выходе логического элемента и может колебаться от 5,5 до 2,4 В. Если выходной сигнал находится в зоне сигнала неопределенного уровня (0,4—2,4 В), то можно предположить, что в схеме имеются неисправности.

Различие в низших пределах высоких уровней входного и выходного сигналов (2,0 и 2,4 В) объясняется стремлением обеспечить помехоустойчивость цифровых схем. Различие в низких уровнях сигналов $U_{вх}<0,8$ В и $U_{вых}<0,4$ В также должно обеспечить уверенность в том, что цифровая схема не будет реагировать на нежелательные помехи.

Схема на рис. 8.2,*а* представляет собой вентиль с активной единицей и используется как основной логический элемент. Схема на рис. 8.2,*б* — вентиль с открытым коллектором — предназначена для организации «проводного *И*», двунаправленных передач данных и некоторых других специальных при-

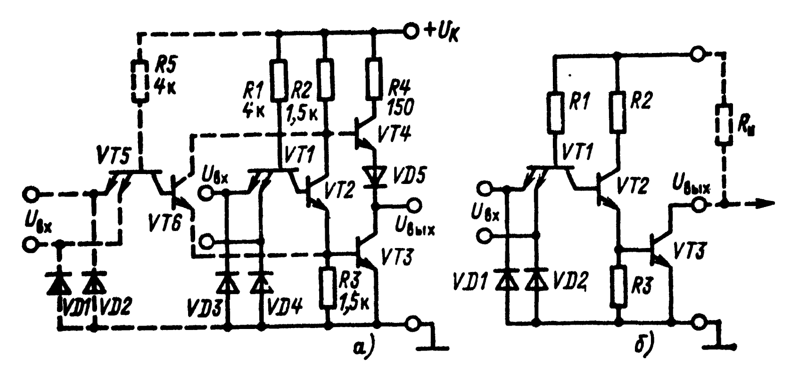


Рис. 8.2. Схемы ТТЛ-вентилей

менений. Для того чтобы вентиль обеспечивал напряжение высокого логического уровня (ВЛУ), необходимо включение внешнего резистора $R_н$.

На входе транзистор *VT1* имеет два эмиттера. Его можно рассматривать как два транзистора, базы и коллекторы которых соединены параллельно. Когда на любой из входов подан сигнал низкого уровня, транзистор *VT1* насыщен, а *VT2* заперт и на выходе будет действовать высокий логический уровень или единица.

Это напряжение определяется величиной $U_К$ за вычетом падения напряжения $U=1{,}05 \div 1{,}65$ В на эмиттерном переходе *VT3*, диоде *VD* и резисторе R_2 за счет базового тока *VT3* при $t_{окр}=20 \div 40\,°C$. Следовательно, на выходе исправного вентиля при его питании напряжением ($5\pm0{,}25$) В верхний уровень должен составлять 3,1—4,2 В. Если в таком состояний выход вентиля замкнуть на общий провод, то ток короткого замыкания будет ограничен резистором *R4* на уровие 20—50 мА. Когда на обоих входах высокий уровень, транзистор *VT1* работает как инверсно включенный. Можно считать, что его переход база — коллектор представляет собой диод в проводящем состоянии, через который транзистор *VT2* открывается и устанавливает на выходе низкий уровень (на выходе исправного ТТЛ-вентиля, нагруженного на другие ТТЛ-схемы, уровень лежит в пределах 0,05—0,3 В).

В схеме с открытым коллектором (рис. 8.2,*б*) напряжение ВЛУ определяется $U_К$ и паденнем напряжения на $R_н$. Так как ток, потребляемый входами ТТЛ-схем в состоянии ВЛУ довольно мал (доли миллиампера), то напряжение ВЛУ на выходе вентиля может быть довольно близко к $U_К$. Например, при $R_н=1$ кОм и нагрузке еще на шесть входов напряжение ВЛУ на выходе схемы с «открытым коллектором» типа К155ЛА8 будет достигать 4,5—5,2 В.

Быстродействие логических схем характеризуется задержкой, которую они вносят в распространение логических сигналов. На рис. 8.3,*а* показана схема измерения задержки с помощью двухлучевого осциллографа или осциллографа с коммутатором. Прямоугольные импульсы напряжения от генератора подают на один из входов микросхемы *МС* и на вход канала *1* осциллографа. Если микросхема имеет несколько входов, то на них подают

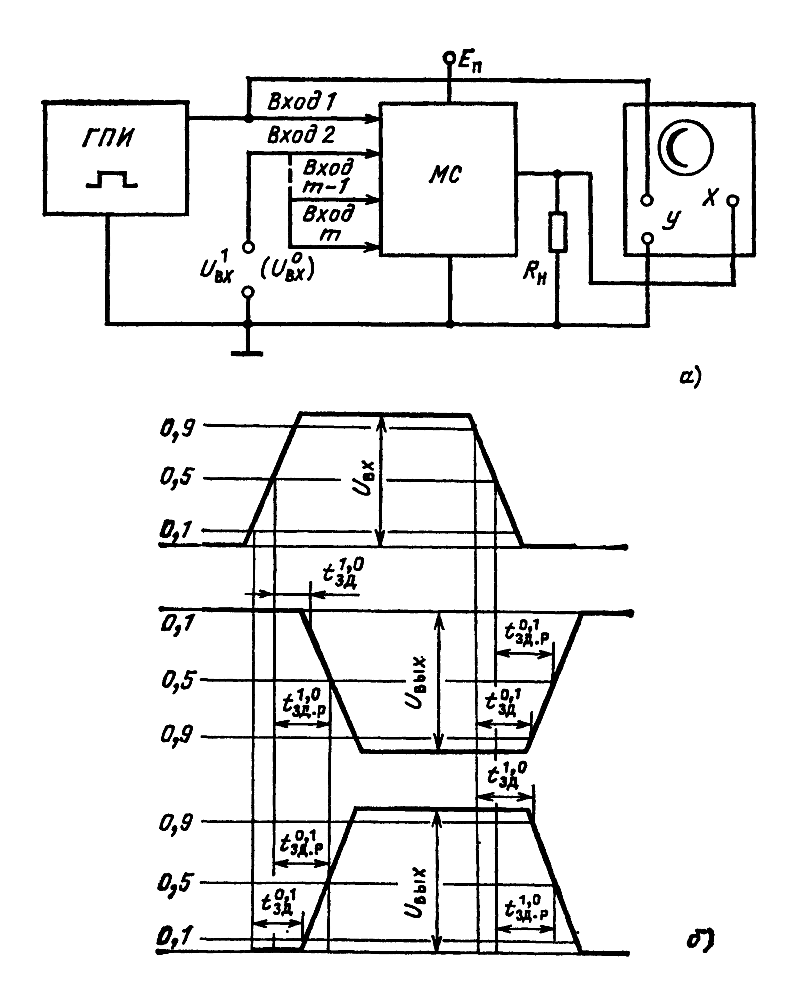


Рис. 8.3. Схема измерения динамических параметров цифровых МС с применением двухлучевого осциллографа:

а — схема соединений; *б* — пример отсчета параметров $t^{0,1}_{зд}$, $t^{1,0}_{зд}$, $t^{0,1}_{зд.р}$, $t^{1,0}_{зд.р}$, эпюрам входного и выходного импульсов цифровых МС

напряжения $U^1_{вх}$, $U^0_{вх}$ или их комбинацию, обеспечивающую переключение микросхемы от воздействия прямоугольного импульса. Импульс с выхода нагруженной схемы подается на вход канала *2* осциллографа.

Различают: *время задержки включения* $t^{1,0}_{зд}$, которое для инвертирующих МС измеряется как интервал между уровнем $0{,}1U$ входного сигнала и уровнем $0{,}9U$ — выходного, а для неинвертирующих — как интервал между $0{,}9U_{вх}$ и $0{,}9U_{вых}$; *время*

задержки выключения $t_{зд}^{0,1}$ измеряется как интервал времени: для инвертирующих МС — между $0{,}9U_{вх}$ сигнала и уровнем $0{,}1U_{вых}$, а для неинвертирующих МС — как интервал между уровнем $0{,}1U_{вх}$ и уровнем $0{,}1U_{вых}$.

Время задержки распространения при включении $t_{зд}^{0,1}$ и выключения $t_{зд}^{0,1}$ инвертирующих схем измеряют как интервал между уровнем $0{,}5U_{вх}$ и $0{,}5U_{вых}$.

Задержка распространения ТТЛ-схемы отсчитывается на уровне 1,5 В, так как примерно на этом уровне находится пороговое напряжение ТТЛ-вентиля.

Среднее время задержки распространения

$$t_{зд.ср}=(t_{зд}^{1,0}+t_{зд}^{0,1})/2.$$

8.3. СТАНДАРТНЫЕ, БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ И МАЛОМОЩНЫЕ ТТЛ-СХЕМЫ

Разные виды аппаратуры предъявляют разные требования к быстродействию, поэтому промышленность выпускает несколько серий микросхем, отличающихся быстродействием и мощностью потребления.

Типичные значения задержек и потребляемой мощности вентилей разных серий, измеренные в нормальных условиях, приведены ниже:

Микросхема	К130, К131	К133, К155	К136, К158	К176 (КМОП)
$t_{зд.ср}$	9	19	60	200
Мощность на один вентиль, мВт	36	18	3	3—10

Быстродействие и потребляемая мощность вентиля определяются параметрами элементов схемы: на рис. 8.2,*а* приведены ориентировочные значения резисторов, характерные для стандартных серий К155, К133. Схема вентиля также незначительно варьируется: в быстродействующих сериях К130, К131 вместо смещающего диода *VD5* применяется второй эмиттерный повторитель; в схемах маломощных серий К136, К158 отсутствуют входные шунтирующие диоды, предназначенные для ограничения отрицательных выбросов напряжения, которые могут попасть на вход схемы.

Комплементарные МОП-структуры (КМОП) вместе с ТТЛ в настоящее время представляют собой два наиболее распространенных семейства логических элементов. С помощью этих семейств можно удовлетворить все потребности, возникающие при построении цифровых схем и устройств. Исключение составляют схемы с большой степенью интеграции (БИС), в которых преобладают МОП-структуры и сверхбыстродействующая логика, где господствующее положение занимают логические элементы с эмиттерными связями (ЕСЛ).

Хотя в обоих семействах (ТТЛ и КМОП) идентичные вентили, например И — НЕ, выполняют одинаковые операции, их логические уровни, а также другие характеристики (быстродействие, входной ток и т. д.) совершенно различны. На рис. 8.4,*б* приведена схема вентиля И — НЕ в КМОП-исполне-

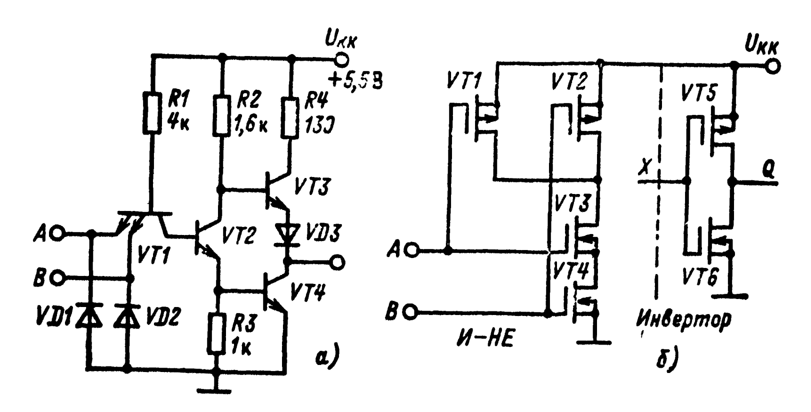


Рис. 8.4. Вентиль И — НЕ в ТТЛ (*а*) и КМОП (*б*) исполнении

нии. Этот вентиль построен на полевых МОП-транзисторах обеих полярностей, которые работают в режиме и соединены как ключи, а не как повторители. Открытый полевой транзистор аналогичен низкоомному резистору, подключенному к шине питания. Для того чтобы открыть последовательно включенную пару транзисторов *VT3*, *VT4* и закрыть нагрузочные транзисторы *VT1* и *VT2*, на оба входа должен быть подан сигнал высокого уровня. Это приводит к тому, что на выходе вырабатывается низкий уровень, т. е. получается сигнал И — НЕ. Транзисторы *VT5* и *VT6* образуют обычный КМОП-инвертор, благодаря которому в итоге получается вентиль И.

Как ТТЛ, так и КМОП-вентили обеспечивают активный выход с питанием нагрузки от шины положительного напряжения. Вентили на дискретных компонентах этой способностью не обладают. Но для ТТЛ требуется напряжение питания ±5 В ±5 %, в то время как элементы КМОП могут работать в диапазоне от +5 до +15 В (наиболее распространенные значения +5 и +12 В).

Рассмотрим разницу между этими элементами по входам и выходам.

Входы. В состоянии низкого уровня вход вентиля ТТЛ представляет собой токовую нагрузку для управляющего им источника сигнала (для стандартных элементов ТТЛ типовое значение составляет 1 мА), следовательно, для поддержания на входе низкого уровня необходимо обеспечить отвод тока. Поскольку выходные каскады схем ТТЛ обладают хорошей нагрузочной способностью, сопряжение между собой элементов ТТЛ не представляет проблемы.

Элементы КМОП в отличие от ТТЛ не потребляют тока по входам. Логический порог ТТЛ определяется падением напряжения на двух диодах по отношению к земле (порядка 1,4 В), в то время как для элемента КМОП значение входного порога равно приблизительно половине напряжения питания, но может колебаться от 1/3 до 2/3 его. Элементы КМОП чувствительны к статическому электричеству и могут выходить из строя при пайке, контроле схем, и это надо учитывать при подключении к ним щупа осциллографа.

Выходы. В состоянии низкого уровня выходной каскад вентиля ТТЛ ведет себя как насыщенный транзистор, напряжение на котором близко к потенциалу земли, а в состоянии высокого уровня — как повторитель с выходным напряжением, равным примерно напряжению питания минус падение напряжения на двух диодах. Выход вентиля КМОП представляет собой открытый полевой транзистор, подключенный либо к земле, либо к шине питания.

Элементы ТТЛ обладают высоким быстродействием (25—50 МГц), но потребляют значительную мощность. Схемы КМОП обладают малым быстродействием, но в статическом состоянии рассеивают ничтожную мощность, которая, однако, линейно растет с повышением частоты (потребление тока при коммутации емкостной нагрузки) и вблизи ее верхнего предела почти равна мощности, рассеиваемой элементами ТТЛ.

8.4. НЕИСПРАВНОСТИ МИКРОСХЕМ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ

Постоянное напряжение низкого логического уровня (НЛУ), появляющееся на выходе, не зависящее от входных сигналов, возможно по двум причинам: короткое замыкание в монтаже, неисправность в МС. Различать эти две причины без перепаек и экспериментов, непосредственно по осциллограмме, можно по следующим дополнительным признакам: при коротком замыкании в монтаже постоянное напряжение на выходе микросхемы очень близко к нулю (единицы милливольт), тогда как при неисправности внутри микросхемы оно обычно соответствует нормальному значению низкого логического уровня 50—300 мВ; при коротком замыкании в монтаже на выходе схемы можно наблюдать характерный «звон», вызываемый резонансом паразитной индуктивности и емкости монтажа при переключении транзисторов выходного каскада (скачок тока 20—50 мА). Это явление проиллюстрировано на рис. 8.5, где кривая *1* соответствует скачку тока короткого замыкания $I_{КЗ}$ (а также напряжению на выходе $U_{вых}$, которое появилось бы при отсутствии короткого замыкания), а кривая *2* отражает фактическое выходное напряжение. Амплитуда звона — от десятков до сотен милливольт. По амплитуде и периоду «звона» можно при некотором навыке примерно определить длину короткозамкнутого участка цепи. В маломощных сериях К136, К158 звон имеет маленькую амплитуду, и этот метод использовать неудобно.

Постоянное напряжение ВЛУ на выходе, не зависящее от входных сигналов, может возникнуть при обрыве цепи общего провода (непропай вывода или обрыв внутри микросхемы).

Пониженное напряжение ВЛУ на выходе может быть вызвано несколькими причинами. Если логическая функция схемы сохранилась, то причина — неисправность в микросхеме, обрыв в цепях *VD*, *VT4*, *R4*, *R2* (см. рис. 8.2,*а*). Если логическая функция полностью нарушена, то вероятная неисправность — обрыв цепи выхода либо цепи питания (обрыв может произойти как

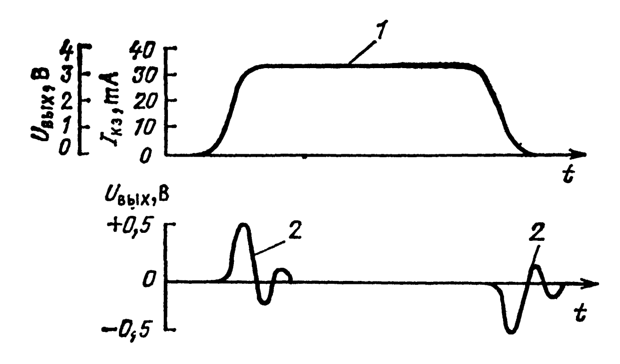


Рис. 8.5. «Звон» на выходе ТТЛ схем при коротком замыкании в монтаже

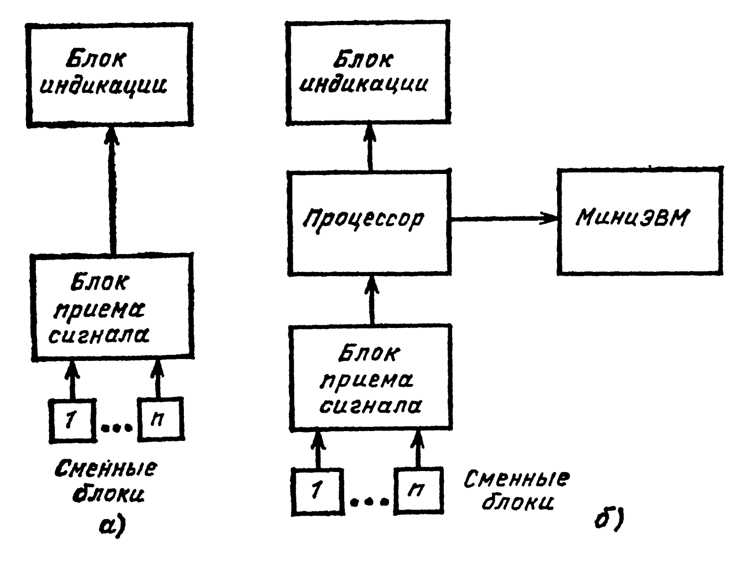


Рис. 8.6. Схема цифрового осциллографа

внутри микросхемы, так и из-за непропая ее вывода). При этом, конечно, микросхема не работает, а изменения состояния ее выхода (уровни ~0 и ~1,5 В) вызываются переключениями входов, нагруженных на этот выход схем. Такая неисправность обычно сопровождается характерным резким увеличением времени спада.

Повышенное напряжение НЛУ на выходе может вызываться несколькими причинами. Резкое повышение (до 1,7 В при нагрузке на ТТЛ-схемы) и нарушение функционирования указывают на неисправность в микросхеме (обрыв *VT3*, рис. 8.2,*а*). Эта неисправность иногда вводит в заблуждение тем, что «исчезает» при отъединении нагруженных ТТЛ-схем: для ее появле-

ния нужен ток, втекающий в микросхему со стороны выхода. Этот ток не генерирует ни осциллограф, ни вольтметр.

Повышение НЛУ до 1,1 В с сохранением логической функции микросхемы наблюдается при обрыве цепи земля (непропай контакта или обрыв внутри микросхемы), если один из входов микросхемы заземлен (постоянно или только при данной проверке, через выход другой микросхемы). При этом напряжение земли попадает в микросхему через входной шунтирующий диод, повышаясь при этом на 0,7—0,8 В.

Незначительное повышение низкого уровня (до 0,6 В) может наблюдаться, когда имеется случайное короткое замыкание выходов двух вентилей, причем второй при данной проверке находится в состоянии высокого уровня.

Нарушение логической функции при нормальных НЛУ и ВЛУ происходит при выходе из строя микросхемы, однако такая же картина может наблюдаться при коротком замыкании выходов двух вентилей. Характерные косвенные симптомы такого замыкания: нарушение функционирования проявляется как появление незаконных состояний НЛУ и никогда — ВЛУ; значение НЛУ несколько выше, чем у других вентилей (хотя может и не выходить из нормы); в состоянии НЛУ на выходе схемы появляется звон, аналогичный показанному на рис. 8.5.

8.5. ЦИФРОВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Цифровые осциллографы открывают множество совершенно новых применений.

В цифровом осциллографе встретились два направления техники, положив начало новой области измерений — осциллографированию с помощью вычислительных устройств.

В общих чертах осциллограф с цифровой обработкой сигналов содержит блоки приема сигнала и индикации (рис. 8.6,*а*) и процессор, в последнем сигнал преобразовывается из аналогового в цифровой, запоминается, производится его математическая обработка и обратное преобразование в аналоговую форму для индикации (рис. 8.6,*б*).

8.6. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ

Области применения такого прибора фактически неограниченны: усреднение сигналов для выделения их из шума; наблюдение сигнала, прошедшего через произвольный цифровой фильтр, в том числе даже и через такой, который невозможно осуществить с помощью обычных схем; отображение сигнала в частотной области (частотный спектр сигнала) путем вычисления преобразования Фурье; внесение корректирующих поправок в сигнал, искаженный несовершенством измерительных

устройств, такими, как нелинейность, небольшие рассогласования полных сопротивлений и др.; автоматическое масштабирование и преобразование шкал для удобного отображения наблюдаемого сигнала, например передачи его изображения в логарифмической шкале частот и др.

На некоторых особенностях цифровых осциллографов (ЦО) как приборов, получающих все большее применение, стóит остановиться подробнее.

Возможности по обработке массивов данных. Наличие в ЦО значительных вычислительных возможностей позволяет выполнять разнообразные преобразования хранимых в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) массивов цифровых данных о входном процессе.

Существуют алгоритмы для многих видов обработки зарегистрированной информации: простое манипулирование данными (изменение положения кривой на экране — сдвиг по оси X, смещение по оси Y); вычисления, в которых участвуют заданные оператором константы и содержимое каналов запоминающего устройства (сложение, умножение; нахождение максимальных, минимальных и средних значений; определения сигналов в заданной зоне и т. д.); сложные вычисления (дифференцирование, интегрирование, возведение в степень и извлечение корней; нахождение средних квадратичных значений).

Как пример обработки сигнала во временной области можно привести следующее: ЦО имеет, как правило, не менее двух каналов. Если на нем синхронно зарегистрировать напряжение и ток в нагрузке, то, перемножив массивы с помощью внутреннего компьютера, можно вычислить и затем вывести на экран кривую мощности. Интегрируя вновь вычисленный массив на определенном интервале времени, можно затем найти энергию.

Автоматическое измерение и индикация параметров. Автоматическое измерение параметров значительно повышает точность, чувствительность и разрешающую способность результатов по сравнению с традиционными методами, поскольку при этом уменьшается субъективная и некоторые инструментальные составляющие погрешности измерения. Кроме того, наличие на экране совместно с изображением сигнала числовых характеристик его параметров увеличивает эффективность исследований, так как позволяет оператору сосредоточить внимание в основном на проводимом эксперименте, а не на подготовке, настройке прибора и тщательном считывании показаний.

Два курсора (вертикальные линии), положением которых на экране управляет оператор, позволяют получить числовые значения интервала между ними. Расположив курсоры в точках максимального и минимального значений сигнала, можно найти разницу их мгновенных значений. На экране (рис. 8.7) выведены максимальное и минимальное значения сигнала (4,2 и 0,3 В),

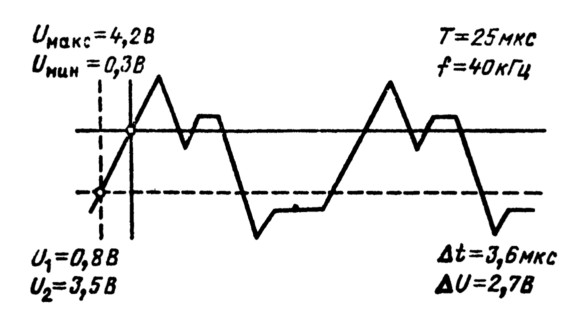


Рис. 8.7. Индикация параметров сигнала

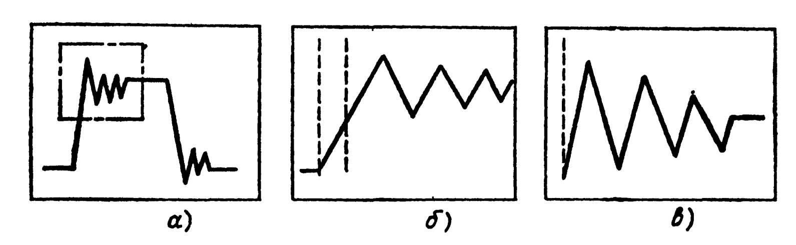


Рис. 8.8. Изменение масштабов изображения по осям:
а — первоначальное изображение (выделен интересующий участок); *б* — растяжка по оси *X* в 4 раза; *в* — сдвиг по оси *X* и растяжка по оси *Y* в 2 раза

значения периода и частоты следования (25 мкс и 40 кГц), а также значение длительности фронта импульса (3,6 мкс), выделенного курсорами.

Изменение масштабов изображения по осям. Примечательной особенностью ЦО, нереализуемой в аналоговых запоминающих осциллографах, является возможность растяжки изображения зарегистрированного (в том числе однократного) сигнала по обеим осям. Установив курсор вблизи интересующей точки на экране и совмещая режимы растяжки по осям и сдвигам, можно рассмотреть участок изображения в нужном масштабе (рис. 8.8).

Сглаживание кривой изображения. Для исследования повторяющихся сигналов при значительном шумовом фоне применяется режим сглаживания, который основан на цифровом усреднении синхронных (с одинаковыми условиями запуска) мгновенных значений большего числа полезных сигналов; поскольку появление шума не согласовано с появлением сигнала, то его значение резко уменьшается (рис. 8.9).

Режим нахождения огибающей сигнала. Вариации сигнала, вызванные разнообразными причинами, могут быть исследованы в течение длительного интервала времени в режиме построения огибающей. Накопление экстремальных значений, например, по амплитуде (рис. 8.10,*а*) позволяет в данном режиме опреде-

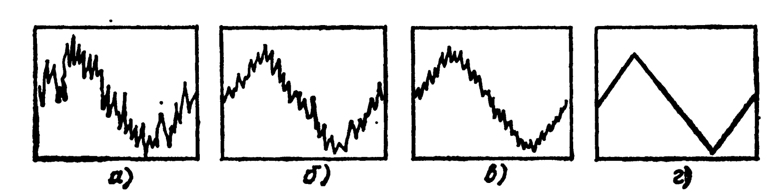
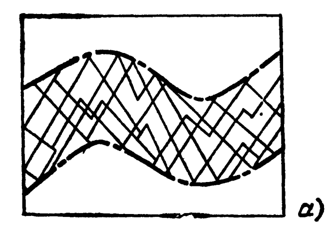


Рис. 8.9. Сглаживание кривой сигнала при разных объемах выборки M (числа просмотренных сигналов):
а — $M=1$; *б* — $M=4$; *в* — $M=16$; *г* — $M=128$



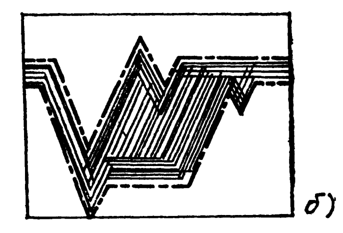


Рис. 8.10. Режим огибающей сигнала:
а — накопление экстремальных значений; *б* — накопление при исследовании времени переключения

лить зону возможного разброса значений множества однотипных форм сигналов.

Подобный режим используется и для нахождения неопределенности изменения сигналов во времени, например, при исследовании времени задержки переключения электронных и электромеханических устройств (рис. 8.10,*б*).

Сравнение сигналов. Зарегистрированную форму сигнала можно визуально сравнить с другой — опорной, хранящейся в долговременной памяти или введенной извне. При этом на экране одновременно появляются две кривые — реальная и опорная (рис. 8.11). Это облегчает анализ работы исследуемого узла.

Сегментирование памяти. Общий ОЗУ данных может быть поделен на части — сегменты равного или разного объема. При этом запись в сегменты может осуществляться как на одной, так и на разной скорости дискретизации. Эта форма записи эффективна при регистрации редко возникающих кратковременных сигналов. На рис. 8.12 приведен пример подобной записи при равных интервалах регистрации $\Delta t_р$ в каждый сегмент. Выбором определенного уровня запуска и интервала предзапуска можно выбрать все важнейшие события процесса. После заполнения всех сегментов можно выводить на экран содержимое одного или нескольких сегментов одновременно.

Режим бегущего изображения. Для создания привычного осуществления работы с «живым» сигналом, уверенности в том,

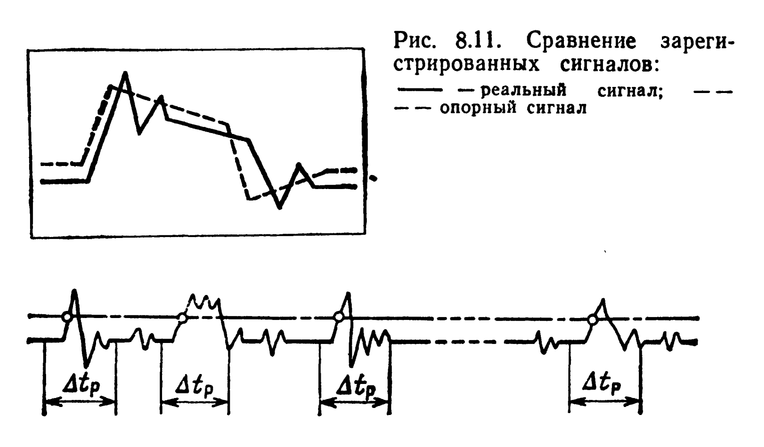


Рис. 8.11. Сравнение зарегистрированных сигналов:
—— — реальный сигнал; — — — — опорный сигнал

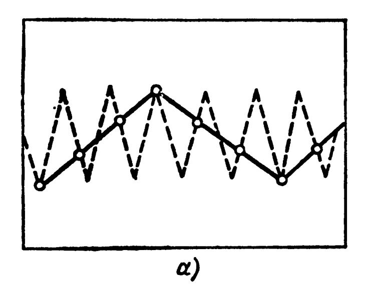
Рис. 8.12. Сегментирование памяти

что осциллограф работает в режиме реального времени и реагирует на изменения входного сигнала, применяется режим бегущего изображения. Режим применяют при сравнительно невысоких частотах входного процесса; в этом режиме изображение сигнала медленно перемещается по экрану в горизонтальном направлении либо при неподвижном изображении обновление данных выполняется движущимся маркером, который стирает старую запись и строит новое изображение.

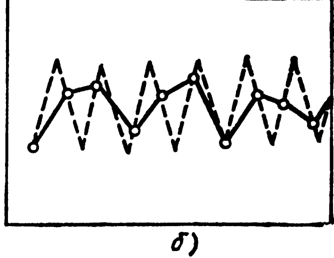
Режим просматривания длительной записи. Если предусмотрена длительная регистрация исследуемого процесса (объем памяти данных 4—32 К слов на канал), а возможность воспроизведения ограничена отрезком записи, обеспечивающим целесообразную разрешающую способность на экране (обычно 5—2 К слов), то полезным является режим просматривания или «прокручивания» всей зарегистрированной последовательности сигналов. При этом оператор, плавно сдвигая изображение в ту или другую сторону по оси времени, может просмотреть всю запись (аналогично работе с классическим осциллографом при растянутой развертке). Отличие от режима бегущего изображения заключается в том, что в режиме просматривания новые данные в память не поступают, изучается уже записанный процесс.

Эффект ложного изображения. Иногда недостаточная частота взятия мгновенных выборок в ЦО может привести к ложному представлению о частоте и форме исследуемого сигнала.

Пример, поясняющий искажения формы, приведен на рис. 8.13,*б*, а эффект кажущегося уменьшения частоты, аналогичный стробоскопическому эффекту, — на рис. 8.13,*а*. Для исключения этих явлений частота выборок сигнала должна быть такой, чтобы обеспечить не менее двух отсчетов на периоде наи-



а)



б)

Рис. 8.13. Искажения формы сигналов при недостаточной частоте выборок:
——— — исходная кривая; — — — — восстановленная кривая

высшей частоты. Обычно от таких искажений избавляются, повышая частоту дискретизации. Но иногда эту частоту повысить нельзя, и тогда применяют методы векторной (формирующей отрезки) или синусоидальной интерполяции. Оптимальным является тот случай, когда в ЦО заложены два этих режима.

Возможности запуска цифрового осциллографа. В цифровом приборе применяют особый вид запуска — цифровой, его оператор выбирает либо перемещением курсора по экрану, либо заданием числового значения.

Определенные трудности в установке порога запуска могут создавать помехи и шумы, присутствующие часто во входном сигнале, поэтому некоторая задержка запуска развертки после окончания этих шумов исключит ложное срабатывание схемы (рис. 8.14).

Предзапуск и послезапуск. Важная особенность, присущая только ЦО и принципиально нереализуемая в аналоговых осциллографах, — предпусковая регистрация, обеспечивающая возможность записи в память и исследования частей сигнала, предшествовавших моменту запуска. Такой режим позволяет определить причины основных колебаний и в ряде случаев также понять причину появления аварийной ситуации.

Реализация режима предзапуска возможна благодаря непрерывному приему и хранению в ОЗУ больших массивов данных о сигнале.

Каждое вновь поступившее от АЦП значение очередного цифрового отсчета записывается в ОЗУ. При этом все предыдущие отчеты сдвигаются, а самый ранний из хранимых отсчетов исчезает — выталкивается (рис. 8.15).

Если пришедшее значение выборки (отсчета) удовлетворит условиям запуска, то все предыдущие отсчеты, хранящиеся в ОЗУ и представляющие всю предысторию развития входного процесса, могут быть выведены на экран прибора. Послезапуск соответствует изображению части формы сигнала, задержанной

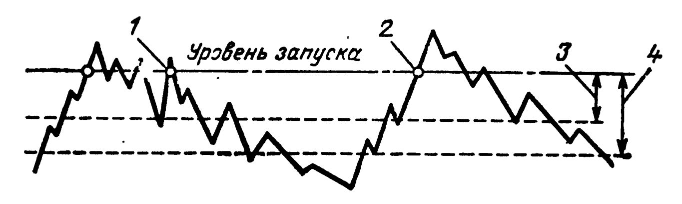


Рис. 8.14. Гистерезис запуска:
1, 2 — ложный и требуемый запуск; 3, 4 — неверно и правильно выбранные зоны

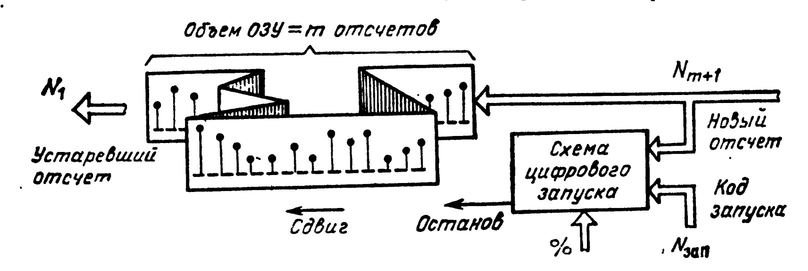


Рис. 8.15. Запись в оперативном запоминающем устройстве

по отношению к моменту запуска на заданный интервал в процентах или миллисекундах.

Получение копий. Следует упомянуть еще об одном преимуществе цифрового осциллографа — легкость получения бумажной копии экранного изображения кривых исследуемых процессов и объяснений к ним. И если в обычном осциллографе для этого нужны фотокамера, настройка, последующая обработка пленки и получение собственно копии, то у цифрового осциллографа это происходит намного проще — или преобразование цифровых эквивалентов массива данных в аналоговый сигнал для внешнего самописца ($X — Y$ или $Y — T$), или просто использование цифрового выхода для внешнего графопостроителя, подключаемого с помощью стандартных интерфейсов.

Глава 9

НЕКОТОРЫЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕМОНТУ И НАСТРОЙКЕ ОСЦИЛЛОГРАФА

9.1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В процессе эксплуатации осциллографа ухудшаются его параметры или появляется неисправность, приводящая к отказу всего прибора. В этом случае осциллограф, как и всякий прибор, вскрывают и перед началом ремонта проводится общий

осмотр монтажа и состояния механических частей. Чтобы избежать пропуска отдельных деталей, нужен постоянный определенный порядок осмотра, например слева направо и сверху вниз.

Ниже приводится самая общая методика нахождения неисправного блока осциллографа, в данном случае осциллографа широкого применения «Сага», принципиальные схемы всех блоков которого помещены в данной книге (рис. 2.1 — схема усиления вертикального отклонения, рис. 2.12 — схема развертки, рис. 2.13 — схема калибратора, рис. 2.17 — схемы источников питания).

9.2. ВОЗМОЖНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И ИХ ПРИЗНАКИ

Перегорает предохранитель. Если при включении кнопки СЕТЬ лампочка не горит, это может свидетельствовать о перегорании предохранителя. Но если и после замены он снова перегорает, надо проверить, нет ли короткого замыкания в цепях питания. Для этого на контрольных точках плат *A1* и *A2* проверяют при выключенной питающей сети сопротивление источников по отношению к корпусу.

Источник	Место подключения	Сопротивление (не менее), Ом
(11,4±0,5 В)	А2 т. 13 — корпус	500
(—10±0,1) В	А2 т. 12 — корпус	1000
220 В	А1 т. 11 — корпус	$20 \cdot 10^3$
(—1600±50) В	А2 т. 17 — корпус	$20 \cdot 10^4$

При обнаружении короткого замыкания в какой-то из цепей прослеживают по схеме все соединения и негодный элемент заменяют. Подстройку источника питания 11,4 В производят резистором *R159*, а 10 В — резистором *R163* (см. рис. 2.17) и повторяют ее несколько раз, пока не установятся нужные значения. При этом сразу же надо проверить напряжение питания микросхем *D1* и *D2* в развертке (см. рис. 2.12), оно должно быть (5±0,25) В. Если оно ушло за пределы 4,75—5,25 В, то точную установку производят резистором *R159*, при этом напряжение 11,4 В не должно измениться более чем на 0,5 В. Если заданные пределы напряжений источников питания (11,4±0,5) и (—10±0,1) В не устанавливаются, то неисправна схема стабилизатора источников питания. Нужно проверить режимы транзисторов *VT45—VT49* и неисправный заменить. При неисправностях в высоковольтной цепи напряжение (—1600±50) В устанавливается потенциометром *R148* при проверке его киловольтметром *C502* с соблюдением всех предосторожностей. Если источник напряжения —1600 В не регулируется, то нужно проверить транзисторы преобразователя напряжения *VT42*, *VT43* и неисправный заменить. Если оно регулируется, а заданные

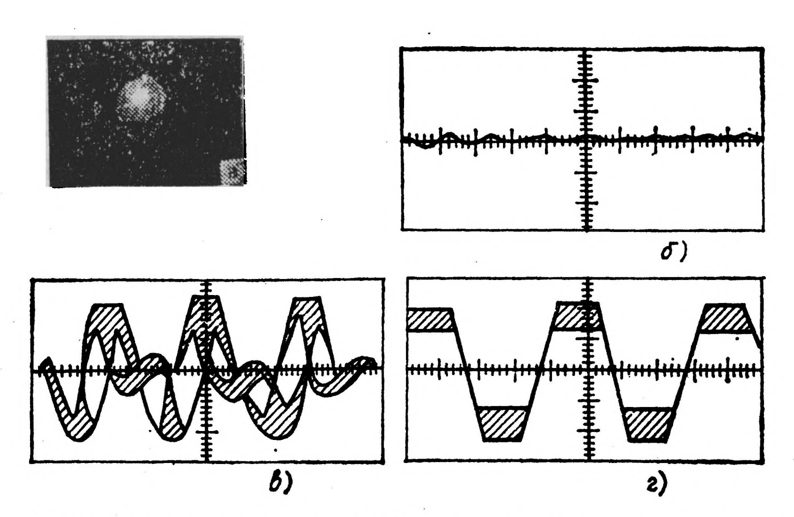


Рис. 9.1. Изображения на экране ЭЛТ при нарушениях фокусировки из-за появления наводок:
а — на луч; *б* — на развертку; *в* — на усилитель *X*; *г* — на усилитель *Y*

пределы ±50 В не устанавливаются, то нужно проверить делители стабилизатора высоковольтного преобразователя: *R131*, *R134*, *R139*, *R141*, *R143*, *R144*, *R148*, *R150* и заменить неисправный резистор. Необходимо также проверить исправность трансформатора — это могут быть междувитковые замыкания, замыкания между обмотками, пробой, обрывы проводов или нарушение контактов; механические поломки арматуры, повреждения крепления и т. д.

Отсутствует изображение на экране ЭЛТ. Отсутствие луча может быть вызвано неисправностью транзисторов *VT42—VT49*. Если при предыдущих проверках было установлено наличие всех питающих напряжений, то дальнейшие неисправности следует искать в цепях связи и самой ЭЛТ. Это может быть плохой контакт в панели ЭЛТ, возникший из-за деформации самой панели или деформации контакта, а может быть из-за выхода из строя самой ЭЛТ, хотя этот дефект может появиться и в цепях смещения луча. Чтобы определить место возникновения дефекта, нужно, внимательно смотря на экран, повернуть ручку регулировки яркости до предела. Если где-нибудь на краю экрана появится тусклое свечение, то можно сказать, что дефект находится в цепях смещения луча (свечение экрана возникает из-за возможного проникновения паразитных электронов, на которые смещающие напряжения не действуют). Кроме того, могут быть и обрывы в кабеле, подводящем высоковольтное напряжение, потеря эмиссии катода ЭЛТ и др. Если на ЭЛТ подаются все питающие напряжения и все контакты исправны,

а изображения нет, то ЭЛТ надо менять. Для этого отвертывают винты, крепящие экран и скобу к передней панели. Экран с ЭЛТ вынимаются вместе.

Ухудшение изображения пятна и линии развертки. Причиной этого явления может быть неисправность в цепи фокусировки, фон от источника питания или высокочастотные наводки на луч. Влияние фона выражается в изменении толщины линии развертки или появлении на ней небольших синусоид даже тогда, когда вертикальный вход усилителя закорочен (рис. 9.1). Такое явление возможно также из-за увеличения сопротивления «земляных» соединений.

Отсутствие перемещения луча по вертикали может быть вызвано неисправностью одного из транзисторов тракта вертикального отклонения *VT1—VT9* или переменного резистора *R178* (см. рис. 2.1). Отклонение луча только в одном направлении происходит при обрыве соединения выходного каскада усилителя с одной из отклоняющих пластин или дефекта в самой ЭЛТ, причем при замыкании между вертикально и горизонтально отклоняющими пластинами луч может быть постоянно смещен в каком-то определенном направлении.

Не перемещается луч по горизонтали. Нужно проверить исправность транзисторов усилителя горизонтального отклонения *VT30—VT36* и переменного резистора *R200*, неисправные заменить.

Отсутствует линия развертки на экране. При наличии светового пятна на экране отсутствие линии развертки может быть следствием дефекта в генераторе развертки, в усилителе горизонтального отклонения или в ЭЛТ. Место нахождения дефекта можно уточнить так: выключают развертку и на вход *X* подают напряжение от калибратора. Если на экране появляется горизонтальная линия, то дефект находится в генераторе развертки. В этом случае проверяют исправность транзисторов *VT22—VT29*, микросхем *D1* и *D2* и наличие контактов в переключателе *S5* (см. рис. 2.12). Если линия развертки не появляется, то дефект нужно искать в канале усилителя *X* или в трубке. Для дальнейшего уточнения места дефекта сигнал подают прямо на горизонтально отклоняющие пластины. Если после этого развертка появляется, дефект находится в усилителе горизонтального отклонения, а если линии нет, то неисправна ЭЛТ.

Найти каскад, в котором теряется сигнал, можно с помощью самого же осциллографа, который работает как индикатор. Контрольный сигнал подается через конденсатор 0,1 мкФ, начиная от пластин и до начала усилителя *X*. Первая точка, где горизонтальная линия на экране исчезнет, приблизительно определит место дефекта. В этом месте нужно проверить исправность резисторов, конденсаторов и т. д. Дефекты могут находиться и в схеме запуска и подсвета луча.

При смене трубки надо провести настройку луча ЭЛТ. Для этого устанавливают переключатели *Время/дел* и *V/дел* в положение *2*, а кнопочный *µS/mS* не нажимают. На вход прибора подается сигнал через делитель 1 : 1 с гнезда.

Ручкой УРОВЕНЬ изображение синхронизируется. Резистором *R62* (см. рис. 2.1), выведенными под шлиц, и ручкой добиваются максимальной четкости изображения фронта и вершины импульса.

Изображение сигнала не стабилизируется, хотя на экране можно получить нормальную развертку. Если изображение ручкой *Уровень* не синхронизируется, то дефект ищут в канале синхронизации. Надо проверить контакты входных переключателей, транзисторы *VT21*, *VT22* и микросхему *D1—1* (см. рис. 2.12). Если при положениях переключателя синхронизации *Внутр* и *От сети* синхронизация получается одинаково плохой, то, очевидно, мешает фон (обычно, если частота сигнала не кратна 50 Гц, то лучшая синхронизация должна быть при внутренней синхронизации). Фон может возникнуть из-за нарушения монтажа при ремонте, ухудшения контакта в местах соединения с корпусом, появления утечек в конденсаторах и др. Из-за дефекта в конденсаторах развертки может произойти укорочение линии развертки.

При перепайках в цепях развертки надо проверить и если необходимо провести настройку коэффициентов развертки. Для этого с выхода калибратора И1-9 на вход *Y* подают импульсы определенной длительности: *2mS/дел* и *2µS/дел*. Коэффициент длительности развертки осциллографа *2mS/дел* подстраивают резистором *R92*, а коэффициент *2µS/дел* — резистором *R94*. Если погрешность коэффициентов развертки 50 мс/дел и 50 мкс/дел не соответствует норме, то, значит, обратный ток транзистора *VT28* превышает допустимый и транзистор надо заменить.

Отсутствует вертикальное отклонение при действующей развертке. Это отсутствие свидетельствует о дефектах в канале вертикального отклонения. Для нахождения дефекта следует подать контрольный сигнал (от калибратора или, скажем, 50 Гц) на различные точки вертикального канала, начиная от выхода, и наблюдать момент появления изображения импульса или синусоиды на экране. В обнаруженном неисправном каскаде проверяют транзистор и детали.

Для нормальной работы усилитель *Y* должен быть правильно сбалансирован, поэтому переключатель *V/дел* устанавливают в положение 0,5. Ручкой ↕ линию развертки выставляют в центр экрана. Переключатель *V/дел* переводят в положение *1*. Резистором *R6* линию возвращают в центр экрана и операцию повторяют, пока при переключении из положения 0,5 в положе-

ние *1* линия развертки будет смещаться не более чем на 0,2 деления.

О компенсации выносных делителей упоминалось ранее.

Если переходная характеристика усилителя *Y* не соответствует норме, то, значит, номинальные значения элементов корректирующих цепей не соответствуют приведенным в схеме. Необходимо проверить номинальные значения сопротивлений резисторов *R3*, *R51* и емкостей конденсаторов *C11*, *C12*, а также конденсаторов входных делителей и несоответствующие заменить.

Калибратор не работает, если неисправны транзистор *VT15* или диод *VD3*, а также если пропал контакт в соединительных проводниках. Часто плохая работа осциллографов и появление фона вызываются повреждением соединительных кабелей, обрывом земляного конца пробника, применением обычных проводников вместо специального кабеля соединителя и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Справочник** по радиоизмерительным приборам/ Под ред. В. С. Насонова. М.: Советское радио, 1979. Т. 3.

2. **Рябинин Ю. А.** Стробоскопическое осциллографирование: М.: Советское радио, 1972.

3. **Шкунов В. А., Семеник Г. И.** Широкополосные осциллографические трубки и их применение. М.: Энергия, 1976.

4. **Жмурин П. И.** Прием передач стереофонического радиовещания. М.: Связь, 1973.

5. **Новоселов С. В.** Карманные транзисторные приемники. Л.: Энергия, 1980.

6. **Якимов О. П.** Газоразрядные матричные индикаторные панели. М.: Советское радио, 1980.

7. **Бриллиантов Д. П., Куликов Б. Н., Роксман М. А.** Переносные цветные телевизоры. М.: Радио и связь, 1989.

8. **Ельяшкевич С. А., Пескин А. Е.** Устройство и ремонт цветных телевизоров. М.: Издательство ДОСААФ, 1987.

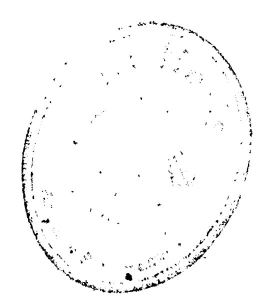
9. **Малинин Р. М.** Справочник по транзисторным схемам. М.: Энергия, 1974.

10. **Чех И.** Осциллографы в измерительной технике: Пер. с нем. М.: Энергия, 1965.

11. **Иванов Б. И.** Осциллограф — ваш помощник// Радио, 1989—1990.

12. **Малиновский В. Н., Панфилов В. А.** Цифровые осциллографы: Обзорная информация. М.: Информприбор, 1987. Вып. 5.

13. **Ромаш Э. М.** Транзисторные преобразователи в устройствах питания радиоэлектронной аппаратуры М.: Энергия, 1975.



ОГЛАВЛЕНИЕ

Новопольский Владимир Александрович

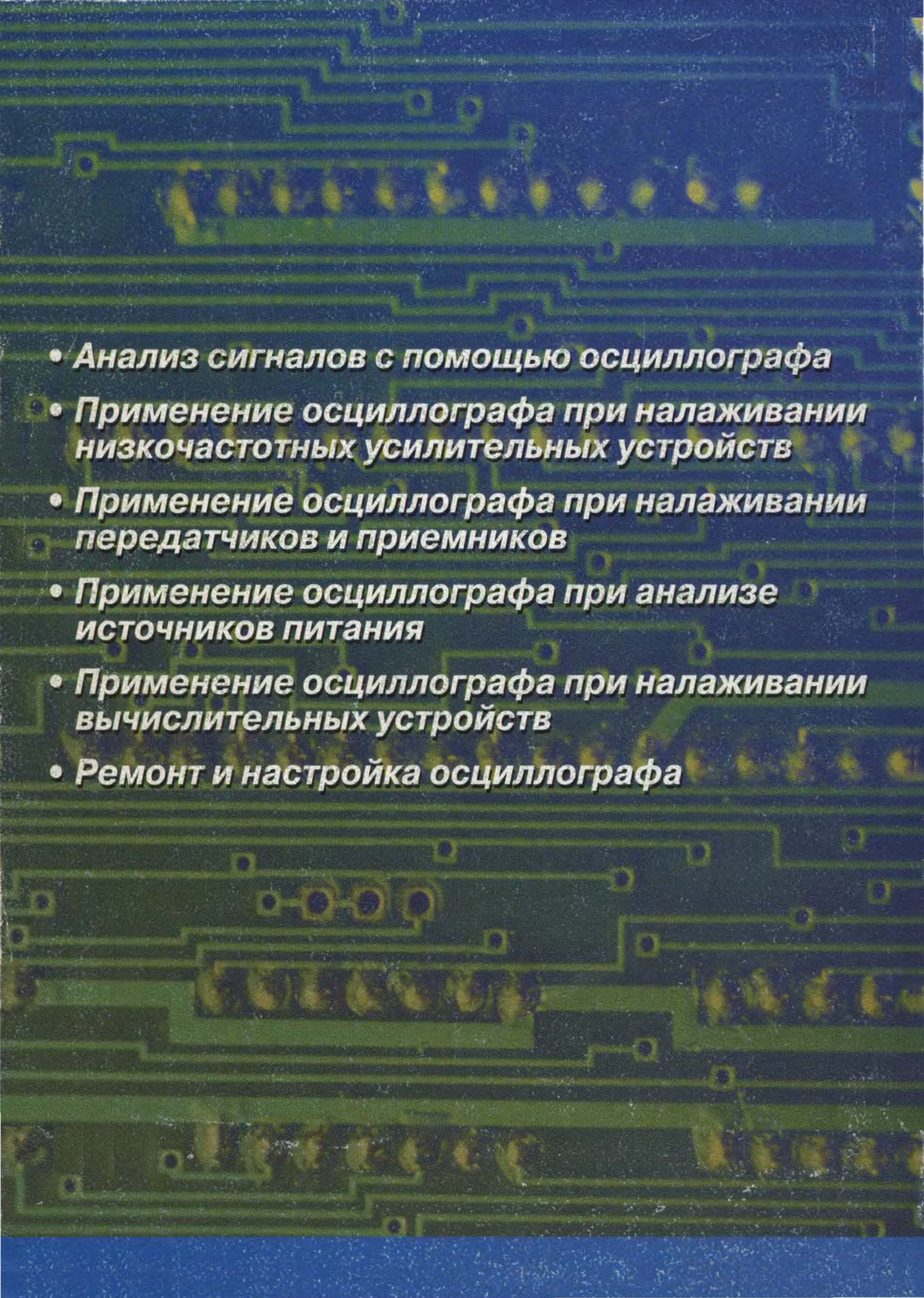
РАБОТА С ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ ОСЦИЛЛОГРАФОМ

Практический курс

ЛР № 061888 от 19.12.97
Подписано в печать 14.09.99 Формат 60×88 1/16
Гарнитура Литературная Печать офсетная Бумага газетная
Печ. л. 11,0 Доп. тир. 3000 экз. Заказ 2785

ООО "Научно-техническая книга"
114454 Москва, пр-т Вернадского, д. 70

Отпечатано в Производственно-издательском комбинате ВИНИТИ,
140010, г. Люберцы, Московской обл., Октябрьский пр-т, 403.
Тел. 554–21–86


• Анализ сигналов с помощью осциллографа
• Применение осциллографа при налаживании низкочастотных усилительных устройств
• Применение осциллографа при налаживании передатчиков и приемников
• Применение осциллографа при анализе источников питания
• Применение осциллографа при налаживании вычислительных устройств
• Ремонт и настройка осциллографа